



# Etude des relations Pressions- Impacts - Etats à l'échelle des masses d'eau souterraine de Guadeloupe dans le cadre de la révision de l'état des lieux

Rapport final

BRGM/RP- 63816 -FR  
Septembre 2014





# **Etude des relations Pressions- Impacts - Etats à l'échelle des masses d'eau souterraine de Guadeloupe dans le cadre de la révision de l'état des lieux**

Rapport final

**BRGM/RP- 63816 -FR**  
Septembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
de Service public du BRGM 2014 14RGH0458

**L. Ducreux, T. Ratsimihara, A. Brugeron, C. Castillo, B. Lopez, S. Pinson,  
J.F. Vernoux et N. Surdyk**

## **Vérificateur :**

Nom : L. Gourcy

Date : 27/10/2014

Signature :



## **Approbateur :**

Nom : J.M. Mompelat

Date : 08/11/2014

Signature :



**Mots-clés :** Masses d'eau souterraine, Révision de l'état des lieux, Bassin Guadeloupe, SDAGE, Directive Cadre sur l'Eau, Pression, Impact, Etat, Scénarios tendanciels, Produits phytosanitaires.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**L. Ducreux, T. Ratsimihara, A. Brugeron, C. Castillo, B. Lopez, S. Pinson, J.F. Vernoux et N. Surdyk** (2014) – Etude des relations Pressions- Impacts - Etats à l'échelle des masses d'eau souterraine de Guadeloupe dans le cadre de la révision de l'état des lieux. Rapport final. BRGM/RP- 63816 -FR, 146 p., 52 ill., 44 tabl., 2 ann.

## Synthèse

Conformément à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) adoptée par l'Europe en décembre 2000, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et les programmes de mesures (PDM) qui les accompagnent ont été approuvés fin 2009 pour la période 2010-2015. Les premiers fixent notamment les objectifs assignés aux masses d'eau aux diverses échéances : 2015, 2021 ou 2027 ; les programmes de mesures identifient, sur 2010-2015, les grands types d'actions (« mesures ») nécessaires pour atteindre ces objectifs et mettre en œuvre les dispositions du SDAGE.

La révision de l'état des lieux du bassin de la Guadeloupe vise à répondre aux exigences de la Directive Cadre sur L'Eau, afin d'atteindre le bon état des eaux d'ici 2015. Un premier état des lieux du district hydrographique de la Guadeloupe a été réalisé en 2005. Celui-ci devait faire l'objet d'une mise à jour d'ici fin 2013. L'Office de l'Eau a sollicité le BRGM, dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, pour la réalisation de l'étude portant sur l'analyse des impacts des activités humaines sur l'état des eaux souterraines. Ce volet constitue la 2<sup>ème</sup> étape de la révision de l'état des lieux des masses d'eau souterraine du bassin Guadeloupe.

L'inventaire des pressions sur l'ensemble de l'archipel a été réalisé par un prestataire et a démontré que quatre types de pressions sont susceptibles d'impacter les masses d'eau souterraine :

- les prélèvements ;
- les pressions d'origine agricole : incluant les pesticides et les composés azotés ;
- les pressions d'origine urbaine : impliquant principalement l'assainissement (collectif et non collectif) ;
- les pressions d'origine industrielle.

Les données chimiques, exportées de la base de données ADES et issues des divers réseaux de surveillance établis sur le bassin Guadeloupe (réseau de contrôle de surveillance, réseau de contrôle opérationnel, contrôle sanitaire, etc.), ont permis l'inventaire des teneurs en micropolluants minéraux dépassant les valeurs seuils DCE (> norme DCE) et/ou des teneurs s'approchant des normes (> norme DCE/2, facteur de sécurité) ou considérées comme notables. Ces données ont été recoupées avec les pressions théoriques potentiellement à l'origine de ces contaminations et les pressions susmentionnées recensées par le prestataire.

Cette procédure a également été appliquée aux produits phytosanitaires (micropolluants organiques). Ont alors été recensés les pesticides dont les concentrations dépassaient au moins une fois la valeur seuil de 0,1 µg/L et/ou la valeur seuil DCE/2. Ces dépassements ont ensuite été associés aux pratiques agricoles théoriques à l'origine de ces contaminations.

L'établissement des liens pressions-impacts a montré que deux types de pressions ont un impact significatif et avéré sur les masses d'eau souterraine de Guadeloupe :

- les prélèvements pour la Grande-Terre (FRIG001) ;
- les pressions diffuses d'origine agricole et notamment les produits phytosanitaires présentent un impact significatif pour les masses d'eau de Grande-Terre (FRIG001), Marie-Galante (FRIG002) et du sud Basse-Terre (FRIG003) ;

L'impact des pesticides s'explique par les cultures dominantes de bananes et de cannes à sucre impliquant depuis plusieurs années l'usage de produits phytosanitaires. L'usage de fertilisants azotés exerce une pression significative sur les masses d'eau de Grande-Terre (FRIG001), Marie-Galante (FRIG002), du nord Basse-Terre (FRIG006) et du sud Basse-Terre (FRIG003). Cependant leur impact est modéré en raison d'un phénomène de dénitrification. Les conditions oxydo-réductrices d'un milieu, favorables à une dénitrification, permettent en effet de réduire fortement l'impact des pratiques agricoles sur les eaux souterraines.

Les prélèvements, quant à eux, induisent des phénomènes localisés d'intrusion saline dans le secteur des plateaux du nord de la Grande-Terre, conduisant à une augmentation des chlorures dans les eaux souterraines.

L'estimation des tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines a été réalisée à partir des chroniques de données chimiques disponibles, d'un outil statistique (HYPE) et de scénarios d'évolution. Selon l'analyse des scénarios de tendances attendus pour les prochaines années et le traitement statistique des données actuelles, les activités agricoles ne devraient pas entraîner une augmentation des teneurs en pesticides et composés azotés dans les eaux souterraines. Pourtant, certaines concentrations dépassant les normes devraient toujours être observées pour les molécules rémanentes telles que la chlordécone et le lindane. Ceci est également valable pour d'autres pesticides moins rémanents récemment importés sur le territoire guadeloupéen et détectés, quantifiés voire dépassant les normes de manière ponctuelle (exemple du glyphosate). Ainsi, même si aucune tendance statistique à la hausse n'est observée ni prévue à l'horizon 2021 pour les produits phytosanitaires, la dégradation de l'état chimique d'une/de masse(s) d'eau souterraine n'est pas à exclure. Le manque de connaissance sur les modalités de transfert des pesticides dans le sous-sol ne permet pas de préciser davantage les tendances à moyen terme. S'agissant des chlorures, si l'augmentation des concentrations pour ce paramètre n'apparaît pas problématique statistiquement à l'échelle globale de la masse d'eau souterraine de Grande-Terre, les chroniques de concentration de certains points d'eau montrent toutefois, localement, des tendances significatives. Afin d'affiner le diagnostic, des scénarios d'évolution ont pu être testés par le biais du modèle hydrodynamique des écoulements souterrains de Grande-Terre; les résultats sont résumés ci-après.

Le SDMEA prévoit l'exploitation de la nappe de Grande-Terre par des champs captants répartis sur l'ensemble de la masse d'eau. En cohérence avec ce document, le modèle hydrodynamique de Grande-Terre a considéré 25 forages dans les simulations réalisées. Deux scénarios ont été pris en compte sur la période de calage 1985-2005 : i) *24h de pompage par jour à un débit de 70 m<sup>3</sup>/h sur les 25 forages* ; et ii) *20h de pompage par jour à un débit de 70 m<sup>3</sup>/h pour 20 forages + 60 m<sup>3</sup>/h pour 5 forages* et il n'a pas été constaté d'impact quantitatif et qualitatif au droit des champs captant de l'ouest et de l'est Grande-Terre respectivement. Ces territoires avaient au préalable fait l'objet d'études hydrogéologiques pour l'implantation de nouveaux forages. En revanche, des rabattements importants ont localement été observés par simulation pour les champs captant du sud et nord Grande-Terre ; ce constat témoigne de la nécessité de mettre en œuvre des études pour optimiser l'emplacement des sites de forages afin de minimiser les risques de dénoyage des pompes et d'intrusion saline.

## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Analyse des relations Pression – Impact à l'échelle des MESO de la Guadeloupe...13</b>	
2.1. ACTUALISATION DE L'INVENTAIRE DES DONNEES « PRESSION » .....	13
2.1.1. Pression Prélèvements .....	14
2.1.2. Pression qualitative agricole .....	16
2.1.3. Pressions d'origine industrielle et urbaine .....	19
2.2. CHOIX DES METHODES ET EVALUATION DES RELATIONS PRESSION / ETAT / IMPACT .....	28
2.2.1. Pressions et impacts, aspect quantitatif .....	28
2.2.2. Pressions et impacts, aspect qualitatif .....	38
2.3. BILAN SUR L'ETABLISSEMENT DES NIVEAUX D'IMPACT AU DROIT DES MASSES D'EAU .....	76
2.3.1. Grande-Terre (FRIG001) .....	78
2.3.2. Marie-Galante (FRIG002) .....	78
2.3.3. Sud Basse-Terre (FRIG003) .....	79
2.3.4. La Désirade (FRIG004) .....	80
2.3.5. Saint-Martin (FRIG005) .....	80
2.3.6. Nord Basse-Terre (FRIG006) .....	81
2.3.7. Bilan des niveaux d'impact à l'échelle de l'archipel .....	81
<b>3. Définition de scénarios tendanciels à l'horizon 2021 par l'emploi de méthodes adaptées au contexte Guadeloupéen .....</b>	<b>83</b>
3.1. TRAITEMENT STATISTIQUE PAR L'EMPLOI DE L'OUTIL HYPE POUR L'ESTIMATION DES TENDANCES .....	84
3.1.1. Extraction et pre-traitement .....	84
3.1.2. Traitement par masse d'eau .....	88
3.2. SIMULATION D'EXPLOITATION A PARTIR DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DE GRANDE-TERRE .....	99
3.2.1. Contexte et données disponibles .....	99
3.2.2. Le modèle hydrodynamique de Grande-Terre : rappels .....	102
3.2.3. Bilans hydrodynamiques calculés par le modèle GT .....	104
3.2.4. Simulation d'exploitation des champs captants du SDMEA à partir du modèle hydrodynamique de Grande-Terre .....	113
3.3. AUTRES SCENARIOS D'EVOLUTION POTENTIELS A L'HORIZON 2021.....	131
3.3.1. Aspect quantitatif .....	131
3.3.2. Aspect qualitatif .....	133

<b>4. Conclusion .....</b>	<b>139</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>143</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Extrait du bâti en Guadeloupe .....	20
Illustration 2 : Extrait du calcul de la densité du batî .....	20
Illustration 3 : Carte des rejets industriels (Asconit-Pareto) .....	24
Illustration 4 : Site et sols potentiellement pollués (Asconit-Pareto) .....	27
Illustration 5 : Méthodes d'évaluation des pressions liées aux prélèvements .....	29
Illustration 6 – Test de tendance / rupture sur le point d'eau La Treille .....	32
Illustration 7 – Test de tendance / rupture sur le point d'eau Coulisses .....	32
Illustration 8 : Faciès des eaux souterraines de Grande-Terre au droit de captages AEP (2008 à 2013).....	33
Illustration 9 : Faciès des eaux souterraines de Grande-Terre au droit de captages AEP (1997 à 2009).....	34
Illustration 10 : Chroniques des prélèvements et des teneurs en chlorures au forage Charropin .....	34
Illustration 11 : Chroniques prélèvements et conductivité au forage Charropin.....	35
Illustration 12 : Diagramme de Piper – Marie-Galante (de 2008 à 2013) .....	36
Illustration 13 : Cote de l'interface eau douce - eau salée à l'issue des investigations géophysiques de 2013. Carte en iso-contours et plages de couleur .....	37
Illustration 14 – Exemple : Les unités fonctionnelles de Grande-Terre .....	39
Illustration 15 : Carte de la pression azotée par unité fonctionnelle en Guadeloupe .....	49
Illustration 16 : Carte de la pression phytosanitaire par unité fonctionnelle en Guadeloupe .....	50
Illustration 17 : Résultat du calcul de l'IDPR sur la totalité de la région. Les zones rouges et vertes indiquent respectivement les zones infiltrantes et ruisselantes (source : Dumon et al., 2009) .....	53
Illustration 18 : Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines sur Grande-Terre et Marie-Galante ...	55
Illustration 19 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque par unités fonctionnelles sur Basse-Terre, Grande-Terre et Marie-Galante .....	56
Illustration 20 : Localisation des qualitomètres utilisés dans l'analyse P/I nitrate, médiane des concentrations en nitrates et indice de dénitrification .....	58
Illustration 21 - Carte pression-impact produits phytosanitaires .....	64
Illustration 22 : Délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé de Guadeloupe (Brenot, 2008).....	67
Illustration 23 : Carte des impacts des pressions ponctuelles d'origine potentiellement industrielles ...	69
Illustration 24 : Carte pression-impact des produits pharmaceutiques et antibactériens utilisés préférentiellement en milieu urbain .....	74
Illustration 25 : Carte pression-impact des produits pharmaceutiques dont la concentration dans les eaux souterraines a dépassé 0,01 µg/L lors de l'étude prospective 2012 .....	75
Illustration 26 : "Tendance" détectée par l'outil. Toutes les valeurs sont sous la limite de quantification (rond blanc) .....	87
Illustration 27 : Liste des principales substances actives importées en Guadeloupe, en kg, entre 2002 et 2010 (d'après données fournies par la douane de Guadeloupe).....	88
Illustration 28 : Synthèse des actions pour le développement des ESO sur le secteur de Grande-terre proposé dans le SDMEA de l'Office de l'eau Guadeloupe, Volet Ressource – Phase 3 .....	100

Illustration 29 : Localisation des 25 nouveaux forages prévus dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe (secteurs Nord Grande-Terre, Cap-Excellence et du SIAEAG) .....	101
Illustration 30 : Exemple de profil vertical ouest-est du modèle (Hamm et al., 2007) .....	103
Illustration 31 : Découpage morphostructural de Grande-Terre (Bézègues et al., 2006) .....	104
Illustration 32 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur des Grands-Fonds (m3/h) .....	105
Illustration 33 : Fluctuations des prélèvements dans le secteur des Grands-Fonds (m3/h) .....	106
Illustration 34 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur de la Plaine de Gripon m3/h).....	107
Illustration 35 : Fluctuations des prélèvements dans le secteur de la Plaine de Gripon (m3/h) .....	108
Illustration 36 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur des Plateaux du Nord (m3/h).....	109
Illustration 37 : Fluctuations des prélèvements dans le secteur des Plateaux du Nord (m3/h) .....	110
Illustration 38 : Fluctuations des débits d'eau dans les Plateaux de l'Est (m3/h).....	111
Illustration 39 : Fluctuations des prélèvements dans les Plateaux de l'Est (m3/h) .....	112
Illustration 40 : Rabattements simulés pour le scénario 1 sur le secteur d'étude (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m3/h 24h/24 sur la période 1985-2005) .....	116
Illustration 41 : Profondeur calculée de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) sur le secteur d'étude pour le scénario 1 (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m3/h 24h/24 sur la période 1985-2005) .....	118
Illustration 42 : Evolution de la profondeur de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) induite sur le secteur d'étude par le scénario 1 (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m3/h 24h/24 sur la période 1985-2005).....	119
Illustration 43 : Evolution de la teneur en eau salée (en %) sur le secteur d'étude induite par le scénario 1 (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m3/h 24h/24 sur la période 1985-2005).....	121
Illustration 44 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario de référence : aucun pompage supplémentaire sur la période 1985-2005).....	122
Illustration 45 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m3/h 24h/24 sur la période 1985-2005).....	123
Illustration 46 : Rabattements simulés pour le scénario 2 sur le secteur d'étude (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de 70 m3/h 20h/24 et 5 de 60 m3/h 20h/24 sur la période 1985-2005) .....	125
Illustration 47 : Profondeur calculée de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) sur le secteur d'étude pour le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de 70 m3/h 20h/24 et 5 de 60 m3/h 20h/24 sur la période 1985-2005) .....	127
Illustration 48 : Evolution de la profondeur de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) induite sur le secteur d'étude par le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de 70 m3/h 20h/24 et 5 de 60 m3/h 20h/24 sur la période 1985-2005) .....	128
Illustration 49 : Evolution de la teneur en eau salée (en %) sur le secteur d'étude induite par le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de 70 m3/h 20h/24 et 5 de 60 m3/h 20h/24 sur la période 1985-2005) .....	129
Illustration 50 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de 70 m3/h 20h/24 et 5 de 60 m3/h 20h/24 sur la période 1985-2005) .....	130
Illustration 51 : Evolution de la pollution en DBO5 entre 2010 et 2020 selon les 2 hypothèses (Asconit-Pareto) .....	134
Illustration 52 : Evolution de la pollution (EH) sur le site de Jarry Nord (Asconit-Pareto) .....	137

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Pressions sur les ESO requises dans le cadre du rapportage ; annexe C du guide pour la mise à jour de l'état des lieux (mars 2012).....	13
Tableau 2 : Volumes prélevés en eau souterraine pour l'AEP de 2007 à 2012 (Asconit-Pareto) .....	14
Tableau 3 : Volumes prélevés pour l'usage industriel en 2010 (Asconit-Pareto) .....	15
Tableau 4 : Volumes annuels prélevés en eau souterraine (Asconit-Pareto).....	15
Tableau 5 : Indicateurs de pression de prélèvement (Asconit-Pareto) .....	16
Tableau 6 : Taux moyen d'infiltration par masse d'eau souterraine .....	17
Tableau 7 : Indicateurs azote, phosphore et pesticides (Asconit-Pareto).....	17
Tableau 8 : Flux en azote et phosphore provenant du bétail s'infiltrant potentiellement vers les eaux souterraines (Asconit-Pareto).....	18
Tableau 9 : Charges en azote et phosphore potentiellement s'infiltrant vers les eaux souterraines (Asconit-Pareto).....	18
Tableau 10 : Pollution « Assainissement collectif » en DBO5 rejetée en 2010 sur chacune des masses d'eau souterraine (Asconit-Pareto) .....	21
Tableau 11 : Pollution de l'assainissement autonome en DBO5 rejetée dans les masses d'eau souterraine (Asconit-Pareto).....	22
Tableau 12 : Caractéristiques des ICPE ( filière canne) et évolution des flux 2003-2012 (Asconit-Pareto) .....	23
Tableau 13 : Caractéristiques des rejets industriels des centrales électriques (DEAL, 2013) .....	23
Tableau 14 : Nombre de décharges recensées par masse d'eau .....	25
Tableau 15 : Autres sites et sols pollués pouvant potentiellement impacter les eaux souterraines .....	25
Tableau 16 : Caractéristiques des carrières de granulats dur en Guadeloupe (SDC, 2013) .....	26
Tableau 17 : Liste des points d'eau du réseau de suivi quantitatif des masses d'eau souterraine de Guadeloupe utilisés pour les calculs statistiques .....	30
Tableau 18 : Résultats du test de Kendall saisonnier .....	31
Tableau 19 : répartition des surfaces agricoles par masse d'eau souterraine (Asconit-Pareto) .....	40
Tableau 20 : Hiérarchisation et cotation de la pression « Produits azotés » pour les eaux souterraines en fonction du type de culture en Guadeloupe.....	45
Tableau 21 : Comparaison de la pression en produits phytosanitaires entre la banane et la canne ....	48
Tableau 22 : Hiérarchisation et cotation de la pression « produits phytosanitaires » en fonction du type de culture .....	48
Tableau 23: Indices surfaciques pour la pression azotée calculés pour chaque masse d'eau souterraine.....	49
Tableau 24: Indices surfaciques pour la pression phytosanitaire calculés pour chaque masse d'eau souterraine.....	51
Tableau 25 : Signification des valeurs issues de la grille de calcul IDPR en fonction des contextes rencontrés.....	52
Tableau 26 : Hiérarchisation et pondération des critères de vulnérabilité spécifique .....	54
Tableau 27 : Matrice « activité agricole – produit phytosanitaire » spécifique au contexte de la Guadeloupe .....	61

Tableau 28 : Origines théoriques des substances phytosanitaires quantifiées en chacun des points de prélèvement en eaux souterraines de la Guadeloupe.....	63
Tableau 29 : Pressions théoriques associées aux micropolluants minéraux quantifiés sur les points de prélèvements de Guadeloupe .....	68
Tableau 30 : Etablissement du niveau d'impact en fonction du lien entre des pressions existantes et l'état de dégradation des eaux souterraines.....	76
Tableau 31 : Synthèse des relations pressions-impact pour les eaux souterraines (les chiffres indiqués correspondent au nombre de points d'eau impactés).....	77
Tableau 32 : localisation et nomination courante des points d'eau étudiés en fonction des masses d'eau de la Guadeloupe (les points en gras sont les points du réseau RCS) .....	85
Tableau 33 : Coordonnées WGS84 en mètres des 25 nouveaux forages prévus dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe et numérotation utilisée dans ce rapport. Précisons que l'emplacement exact des nouveaux forages n'est pas défini à l'heure de rédaction de ce rapport. Les coordonnées affichées sont donc prévisionnelles.....	102
Tableau 34 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Grands Fonds.....	106
Tableau 35 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone de la Plaine de Gripon .....	108
Tableau 36 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Plateaux du Nord.....	110
Tableau 37 : bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Plateaux de l'Est.....	112
Tableau 38: Description des deux scénarios d'exploitation simulés. Ces scénarios portent sur les quatre champs captants prévus dans le SDMEA de l'OE de Guadeloupe et diffèrent quant à la configuration d'exploitation adoptée (volume prélevé par jour, en rouge ici) .....	113
Tableau 39 : Description du premier scénario d'exploitation simulé (débit horaire, durée de fonctionnement par jour, etc). Sont surlignés en rouge les éléments qui diffèrent du scénario 2.....	114
Tableau 40 : Description du second scénario d'exploitation simulé (débit horaire, durée de fonctionnement par jour, etc). Sont surlignés en rouge les éléments qui diffèrent du scénario 1.....	123
Tableau 41 : Prélèvements AEP supplémentaires d'après le SDMEA (Asconit-Pareto) .....	132
Tableau 42 : Prélèvements supplémentaires par MESO d'après le SDMEA (Asconit-Pareto) .....	132
Tableau 43 : Indicateurs de pression de prélèvement à l'horizon 2021 (Asconit-Pareto).....	132
Tableau 44 : Synthèse de l'évolution de la pollution (DBO5 en kg/jour) suivant l'hypothèse du raccordement actuel (Asconit-Pareto) .....	133
Tableau 45 : Synthèse de l'évolution de la pollution suivant l'hypothèse d'une hausse du taux de raccordement (Asconit-Pareto).....	134

## Liste des annexes

Annexe 1 Description d'une sortie graphique obtenue avec l'outil HYPE .....	147
Annexe 2 Chroniques pertinentes traitées statistiquement avec l'outil HYPE .....	151

## 1. Introduction

Conformément à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) adoptée par l'Europe en décembre 2000, les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et les programmes de mesures (PDM) qui les accompagnent ont été approuvés fin 2009 pour la période 2010-2015. Les premiers fixent notamment les objectifs assignés aux masses d'eau aux diverses échéances : 2015, 2021 ou 2027 ; les programmes de mesures identifient, sur 2010-2015, les grands types de mesures nécessaires pour atteindre ces objectifs et mettre en œuvre les dispositions du SDAGE.

Selon l'article L212-2 du code de l'environnement, le comité de bassin élabore et met à jour le SDAGE et en suit l'application. Cette démarche inscrite dans un cycle de planification de 6 ans s'élabore par étapes dont la première consiste à établir un état des lieux.

La révision de l'état des lieux du bassin de la Guadeloupe vise à répondre aux exigences de la Directive Cadre sur L'Eau. Un premier état des lieux du district hydrographique de la Guadeloupe a été réalisé en 2005. Il devait faire l'objet d'une mise à jour d'ici fin 2013.

Il est à noter que la masse d'eau souterraine de Saint-Martin (FRIG005) fait partie du bassin hydrographique de la Guadeloupe et intègre donc le SDAGE 2010-2015. Celle-ci est suivie d'un point de vue quantitatif, puisque depuis 2012 deux stations installées sur l'île ont intégré le réseau de surveillance DCE de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine du bassin Guadeloupe. L'état des lieux quantitatif d'une masse d'eau s'effectue sur des chroniques de 10 ans, comme le préconise le guide d'évaluation de l'état quantitatif (2012). Ainsi, la masse d'eau FRIG005 n'est pas prise en compte dans cet état des lieux en raison d'une chronique de données piézométriques trop courte mais également d'un manque de connaissance sur le fonctionnement hydrodynamique de cette masse d'eau.

Par ailleurs, son suivi qualitatif dans le cadre de la DCE n'a pour l'heure pas été initié. Seules certaines données chimiques ponctuelles ont été retrouvées dans la littérature. La période de référence pour l'évaluation de l'état qualitatif des masses d'eau au titre de la DCE étant de six ans (durée d'un programme de surveillance), la masse d'eau souterraine de Saint-Martin n'est donc pas considérée dans cet état des lieux qualitatif.

Conformément à l'article R212-3 du code de l'environnement, l'état des lieux comprend :

- une analyse des caractéristiques du bassin ou du groupement de bassins qui comprend notamment la présentation des masses d'eau du bassin et l'évaluation de l'état de ces masses d'eau ;
- une analyse des impacts des activités humaines sur l'état des eaux, qui inclut notamment l'évaluation des pressions et l'évaluation du risque de non atteinte des objectifs environnementaux à l'horizon 2021 ;
- une analyse économique de l'utilisation de l'eau, qui comporte une description des activités utilisatrices de l'eau, une présentation des prix moyens et des modalités de tarification des services collectifs de distribution d'eau et d'irrigation et une évaluation du cout des utilisations de l'eau.

L'état des lieux inclut également l'inventaire des émissions, des rejets et des pertes des polluants à l'échelle du district hydrographique, en application de la directive 2008/105/CE du 16 décembre 2008.

S'agissant plus particulièrement du volet « analyse des impacts des activités humaines sur l'état des eaux », il est prévu au I, 2°, de l'article R. 212-3 du code de l'environnement, que l'analyse des incidences des activités humaines sur l'état des eaux comporte :

- une description des types et de l'ampleur des pressions existantes dans le bassin ;
- une évaluation de l'impact de ces pressions sur l'état des masses d'eau (dans le cas présent, les masses d'eau souterraine) ;
- la prise en compte d'un scénario tendanciel d'évolution des pressions (dont l'évolution prévisible de la demande en eau et de la ressource disponible, ainsi que la répartition de cette ressource entre les différents utilisateurs) ;
- l'identification des masses d'eau qui risquent de ne pas atteindre les objectifs environnementaux (RNAOE) d'ici 2021.

L'analyse des pressions et des impacts doit permettre de répondre à trois grandes finalités complémentaires :

- informer sur les types de pollutions et de détériorations présents dans le bassin, leurs sources, leurs quantités, leurs évolutions dans le temps, ainsi que leurs effets sur le milieu;
- alimenter l'analyse du risque de non-atteinte des objectifs environnementaux en 2021 et, plus largement, être utile à l'élaboration du SDAGE et du programme de mesures ainsi qu'à l'ajustement du programme de surveillance ;
- répondre aux exigences du rapportage communautaire (les données relatives à la mise à jour de l'état des lieux doivent pouvoir être exploitées pour le rapportage).

Le phasage de cette étude réalisée par le BRGM, pour le compte de l'Office de l'Eau Guadeloupe, dans le cadre de ses activités d'appui aux politiques publiques, se décline comme suit :

- > Phase 1 : analyse des relations Pression / Impact ;
- > Phase 2 : définition de scénarios tendanciels à l'horizon 2021 par l'emploi de méthodes adaptées au contexte guadeloupéen ;
- > Phase 3 : évaluation du Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux (RNAOE) d'ici 2021 ;

Le présent rapport rend compte des deux premières phases de cette étude. La troisième fait l'objet d'un rapport distinct (référence BRGM/RP-63849-FR-FR).

## 2. Analyse des relations Pression – Impact à l'échelle des MESO de la Guadeloupe

### 2.1. ACTUALISATION DE L'INVENTAIRE DES DONNEES « PRESSION »

Les pressions à analyser dans le cadre du rapportage sont visibles sur le Tableau 1.

PRESSIONS EAUX SOUTERRAINES (définition CE rapportage mars 2010)		DISPOSITIFS POUR EVALUER LA PRESSION ET/OU L'IMPACT	DONNEES A UTILISER/ BASES DE DONNEES	Peut-être complété par les données / méthodes des agences si plus récentes / complètes (oui / non)	DATE DE LIVRAISON	ORGANISME LIVREUR
Aspects qualitatifs	1. Pollutions ponctuelles	1.1 Sites contaminés				
		1.2 Décharge				
		1.3 Industrie pétrolière	Pression négligeable sauf impact local avéré (dans le cas d'un site pollué, à inscrire dans 1.1 sites contaminés)			
		1.4 Eaux de mines				
		1.5 Rejet au sol				
		1.6 Autre pollution ponctuelle	Pour l'infiltration en sortie de STEP: données de rapportage ERU	NON Par défaut sur infiltration en sortie de stations sauf si expertise locale spécifique	févr.-12	DEB
	2. Pollutions diffuses	2.1 Agriculture				
		2.2 Population non raccordée				
		2.3 Zones urbanisées				
		2.4 Autre pollution diffuse				
Aspects quantitatifs	3. Prélevement	3.1 Agriculture	Utilisation des données de la banque nationale de prélevement	OUI	mi-2012	BNPE: en ligne
		3.2 Alimentation en eau potable				
		3.3.1 Industries IPPC				
		3.3.2 Industries non IPPC				
		3.4 Carrières				
		3.5 Autres prélevements				
	4. Recharge artificielle	4.1 Rejets				
		4.2 Restitutions				
		4.3 Restitutions eaux de mines				
	5. Intrusion saline	5.1 Intrusion saline				
	6. Autres pressions					

Tableau 1 : Pressions sur les ESO requises dans le cadre du rapportage ; annexe C du guide pour la mise à jour de l'état des lieux (mars 2012)

Les pressions existantes en Guadeloupe ont fait l'objet d'un inventaire exhaustif par un prestataire (Asconit Consultant) mandaté par l'Office de l'Eau. Pour les besoins de la présente étude, les résultats ont été fournis au BRGM en avril 2014, notamment sous forme d'un catalogue listant les pressions suivantes : assainissements collectif et autonome, industries, agriculture, prélevements, décharges.

Ces pressions ont été identifiées sur la base des activités identifiées pour la période 2010-2011, conformément aux recommandations nationales. Celles-ci sont distinguées comme « significatives » ou « non significatives » pour chaque masse d'eau.

Pour l'aspect quantitatif, les pressions en Guadeloupe sont essentiellement associées aux prélevements :

- volumes prélevés par masse d'eau et par usage (industriel, agricole, AEP) ;
- volumes consommés par masse d'eau et par usage ;
- pressions significatives de prélevement.

### 2.1.1. Pression Prélèvements

Pour évaluer les pressions de prélevements, l'année 2010 a été choisie comme année de référence et validée par le comité de pilotage de la Révision de l'état des lieux préalable à l'élaboration du plan de gestion 2016-2021. Toutefois ce choix est discutable puisque cette année 2010 est la 2<sup>ème</sup> année la plus pluvieuse (après 2004) sur la période 2003-2013 ; dans ces conditions, la recharge des nappes est optimale ; le ratio Prélèvements/Recharge serait alors faible, sous-estimé et non représentatif pour l'étude de pression.

La pression prélevements est évaluée par rapport à la consommation nette, c'est-à-dire le volume prélevé qui ne retourne pas dans le milieu ; ceci s'opposant au prélevement brut représentant le volume prélevé dont une partie retourne au milieu naturel.

Ainsi, les prélevements bruts sont tout d'abord évalués afin d'estimer un taux de consommation par usage et d'en déduire la consommation nette pour chaque masse d'eau et chaque usage.

#### a) Usage AEP

Pour l'AEP, le tableau du service Redevances de l'Office de l'Eau Guadeloupe sert de base pour l'évaluation de la pression.

Point de mesure des volumes prélevés	Structure	Code ME	Masses d'eau souterraines					
			2007	2008	2009	2010	2011	2012
Blanchard	SIAEAG	FRIG001	52 846	164 040	216 540	288 280	259 080	348 090
Celcourt	SIAEAG	FRIG001	5 793	39	12 750	1 662	20	
Charropin	GE/SMNGT	FRIG001	295 664	307 007	318 100	320 046	326 812	332 089
Chazeau	GE/SIGF	FRIG001	650 810	646 493	623 295	594 313	623 995	619 224
duchassaing	SIAEAG	FRIG001	21	79	56 570	38 940	181 260	264 266
Gensolin	GE/SIGF	FRIG001	444 749	427 401	523 923	446 099	466 993	51 116
Jabrun	GE/SIGF	FRIG001	843 095	854 886	813 039	803 077	754 808	744 762
Kancel	GE/SIGF	FRIG001	514 824	551 175	554 003	617 254	624 516	621 357
Lasserre	GE/SIGF	FRIG001					196 433	500 932
Marchand	GE/SIGF	FRIG001	384 588	318 565	316 692	335 734	330 162	320 827
pelletan	GE/SMNGT	FRIG001	319 724	329 345	329 081	324 935	329 669	332 929
Perrin	GE/SMNGT	FRIG001	536 474	528 275	593 491	544 780	564 368	561 634
Picard	GE/SIGF	FRIG001	301 581	314 244	329 583	317 381	299 827	241 040
balisier	NDES/CCMG	FRIG002	141 207	147 023	165 438	91 061	185 054	194 311
Calebassier	NDES/CCMG	FRIG002	70 953	92 920	96 571	28 960	85 500	92 293
Etang noir	NDES/CCMG	FRIG002	202 015	193 307	153 606	79 467	197 061	194 581
Mouessant	NDES/CCMG	FRIG002	286 882	300 665	293 396	147 791	932 954	269 401
Rabi	NDES/CCMG	FRIG002	106 082	105 471	107 764	55 774	875 584	135 237
Saint louis source 1	NDES/CCMG	FRIG002	81 881	69 121	91 636	44 166	93 719	68 220
Saint louis source 2	NDES/CCMG	FRIG002	123 286	147 501	122 395	50 850	106 214	124 837
Belle eau cadeau	SIAEAG	FRIG003	11 255 293	8 914 535	8 871 504	9 112 645	8 646 827	8 522 331
belleterre palmiste	CASBT	FRIG003	663 430	692 760	681 610		1 182 685	667 730
Ermitage	TROIS RIVIERES	FRIG003	524 571	630 839	597 159	474 930	464 132	524 020
Gommier	TROIS RIVIERES	FRIG003	492 917	491 734	499 181	525 107	503 561	570 487
La plaine	TROIS RIVIERES	FRIG003	224 539	114 684	95 878	95 515	65 645	67 724
Matouba papaye	CASBT	FRIG003		0	102 200	102 200	143 700	143 700
Routhiers	SIAEAG	FRIG003	25 475		0			
Soldat	CGSP/VX FORT	FRIG003	259 312	252 286	204 429	174 357	384 601	181 026
tête canal	TROIS RIVIERES	FRIG003	178 500	209 560	268 038	212 977	180 283	238 425
Les plaines	CGSP/SISCV	FRIG006			0	123 783	145 958	164 177
Mahault	CGSP/SISCV	FRIG006			0	102 716	91 736	145 352
<b>Total Eau Souterraine</b>			<b>18 986 512</b>	<b>16 803 955</b>	<b>17 264 371</b>	<b>16 065 995</b>	<b>19 314 992</b>	<b>17 211 237</b>

Tableau 2 : Volumes prélevés en eau souterraine pour l'AEP de 2007 à 2012 (Asconit-Pareto)

Le rendement technique moyen des réseaux AEP (cours d'eau et eaux souterraines confondus) de Guadeloupe n'atteint qu'environ 50% (rendement technique = volume facturé / volume distribué).

Si l'on considère les piquages clandestins qui ne sont pas comptabilisés dans le volume facturé, le rendement technique sous-évalue le taux de consommation (volume consommé / volume prélevé). Par contre, si l'on considère que le rendement technique s'appuie sur le volume distribué, inférieur au volume réellement produit, alors ce rendement technique surévalue le taux de consommation. L'un dans l'autre, le taux de consommation doit être considéré comme proche du rendement technique, nous le prendrons égal à 50% pour l'usage AEP en 2010.

#### **b) Usage irrigation**

L'étude de pression des prélèvements destinés à l'irrigation a été réalisée sur l'année 2011 et ne concerne que les eaux de surface.

Cependant, d'après le SDMEA, il existe un réseau d'irrigation utilisant les eaux souterraines à Marie-Galante, mais aucune donnée n'est disponible concernant les volumes prélevés et/ou consommés.

#### **c) Usage industriel**

Le Tableau 3 récapitule les prélèvements d'eau effectués directement dans le milieu pour l'usage industriel (source : fichier redevance de l'ODE).

Prise d'eau	Structure	Code ME	2010
Rivière du 1er bras	Bonne Mère	FRIR04	571 437
Forage Nappe de Marie Galante	SA DES SUCRERIES ET RHUMERIE DE MG	FRIG002	149 182
<b>TOTAL</b>			<b>720 619</b>

Tableau 3 : Volumes prélevés pour l'usage industriel en 2010 (Asconit-Pareto)

Les prélèvements inférieurs à 10 000 m<sup>3</sup>/an n'ont pas été pris en compte.

#### **d) Synthèse**

Le Tableau 4 récapitule les volumes prélevés par masse d'eau souterraine en m<sup>3</sup>.

Code MESO	AEP	Irrigation	Industrie	Total
FRIG001	4 632 501			4 632 501
FRIG002	498 069		149 182	647 251
FRIG003	10 697 731			10 697 731
FRIG006	237 694			237 694
<b>Total</b>	<b>16 065 995</b>	<b>0</b>	<b>149 182</b>	<b>16 215 177</b>

Tableau 4 : Volumes annuels prélevés en eau souterraine (Asconit-Pareto)

Remarque : Il est important de noter que les prélèvements AEP sur les masses d'eau de Basse-Terre (FRIG003 et FRIG006) correspondent à des sources. Le compartiment subissant directement cette pression de prélèvement n'est pour l'heure pas tout à fait défini. En effet, ceci est actuellement discuté au niveau national, puisque certains experts estiment que cette pression concerne plus spécifiquement les eaux souterraines, et d'autres, les eaux de surface.

Néanmoins, une source étant un exutoire naturel de la nappe souterraine, celle-ci régit, en complément des eaux météoriques, le régime des rivières. Ainsi le prélèvement d'une source dégraderait de manière directe les eaux de surface ; selon la DCE, les rivières et nappes souterraines étant interconnectées, l'impact de prélèvement d'une source sur la rivière déclasserait en conséquence la masse d'eau souterraine. En Guadeloupe, le fonctionnement hydrogéologique des aquifères de l'île de la Basse-Terre et leurs relations avec les cours d'eau sont actuellement inconnus. Nous estimerons cependant que les prélèvements de sources constituent bien une pression significative pour les eaux souterraines.

L'indicateur Pression de prélèvements se calcule comme suit :

*Indicateur Pression Prélèvements = Volume annuel prélevé / Recharge annuelle*

Pour l'année 2010 les taux de prélèvements pour les nappes de Grande-Terre et Marie-Galante sont les suivants :

Code MESO	Volume prélevé en 2010 (m <sup>3</sup> )	Recharge annuelle (m <sup>3</sup> )	Taux de prélèvement
FRIG001	4 632 501	170 000 000	3%
FRIG002	647 251	8 000 000	8%

*Tableau 5 : Indicateurs de pression de prélèvement (Asconit-Pareto)*

Il est important de rappeler que cet indicateur est calculé à partir des volumes prélevés et non des volumes nets consommés. Le rendement technique du réseau AEP de la Guadeloupe atteignant environ 50%, les taux de prélèvement indiqués dans le Tableau 5 sont alors surestimés. Il aurait été ici pertinent de connaître le volume prélevé retournant dans le milieu, c'est-à-dire dans la nappe, afin de calculer une valeur de pression différente égale à :

*Indice Pression Prélèvements = Volume consommé / Recharge annuelle*

Concernant la Basse-Terre, nous considérerons le volume annuel prélevé sur les captages de source et la recharge annuelle sur l'ensemble de l'île. Sont considérés ici 11 des 20 captages de source existant en Guadeloupe (Tableau 2).

La recharge annuelle de l'île de Basse-Terre calculée par le BRGM à partir du modèle maillé a été estimée à environ 803 millions de m<sup>3</sup> par an (BRGM/RP-56821-FR). L'indicateur Pression de Prélèvements est calculé pour l'ensemble de la Basse-Terre et non pour ses deux masses d'eau considérées séparément.

$$V (\text{Basse-Terre}) = V (\text{FRIG003}) + V (\text{FRIG006}) = 10 935 425 \text{ Mm}^3$$

→ **Taux de prélèvement des nappes de Basse-Terre = 1,36%**

### 2.1.2. Pression qualitative agricole

Deux types de pollutions diffuses et ponctuelles s'exercent sur les eaux souterraines de la Guadeloupe :

- l'azote et le phosphore pour la fertilisation des sols et les résidus des élevages ;
- les pesticides pour le traitement phytosanitaire des cultures.

Le Tableau 7 présente les flux calculés en azote et phosphore dus à la fertilisation des sols, ainsi que les indicateurs de pression azote, phosphore et pesticides (indicateur de pression de traitement phytosanitaire) par masse d'eau.

Le prestataire a calculé ces indicateurs en prenant compte de 3 paramètres :

- l'indicateur de fréquence de traitements phytosanitaires (IFT) pour les pesticides ;
- la surface cultivée pour chacune des cultures ;
- les taux d'infiltration moyen par bassin versant de masse d'eau de cours d'eau, calculé à l'aide d'un SIG par croisement des couches d'emprise des masses d'eau (zone d'influence des masses d'eau souterraine) et Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) sur Basse-Terre, Grande-Terre et Marie-Galante. Ce dernier qualifie l'aptitude des terrains à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de pluie. Sa description détaillée est présentée à la page 50.

Pour la Désirade, en l'absence de données IDPR, le prestataire a considéré un taux d'infiltration du même ordre de grandeur que sur Grande-Terre et Marie-Galante, arrondi à 65%. Pour Saint-Martin, composé de terrains volcano-sédimentaires, le taux d'infiltration moyen est de 55%.

Code MESO	Nom MESO	Taux d'infiltration moyen
FRIG006	Ensemble volcanique du Nord Basse Terre	31%
FRIG003	Ensemble volcanique du Sud Basse Terre	57%
FRIG001	Ensemble calcaire de Grande-Terre	68%
FRIG002	Ensemble calcaire de Marie-Galante	63%
FRIG004	Ensemble volcanique et sédimentaire de La Désirade	65%
FRIG005	Ensemble volcanique de Saint Martin	55%

Tableau 6 : Taux moyen d'infiltration par masse d'eau souterraine

code MESO	nom MESO	Surfaces en ha				Taux d'infiltration moyen	Dans la MESO			Surface MESO (km <sup>2</sup> )	Indicateur N (kg / an / km <sup>2</sup> )	Indicateur P (kg / an / km <sup>2</sup> )	Indicateur Pesticides (IFT moyen / km <sup>2</sup> )
		Ananas	Banane	Canne à sucre	Autre Marachage		Flux en N (kg/an)	Flux en P (kg/an)	IFT cumulé Pesticides				
	Qté moy N (kg/ha/an)	13	50	44	10								
	Qté moy P (kg/ha/an)	1,7	6,5	10,9	0,4								
	IFT (pesticides)	1,06	5,79	3,83	4,9								
FRIG001	Ensemble calcaire de Grande-Terre	4,6	455,9	8 557,5	1 258,4	68%	280 056	65 771	28 270	598,1	468	110	47
FRIG002	Ensemble calcaire de Marie-Galante	0,0	2,6	2 975,4	131,0	63%	82 881	20 352	7 547	160,1	518	127	47
FRIG003	Ensemble volcanique du Sud Basse Terre	41,6	2 539,1	541,1	885,8	57%	91 322	13 016	12 064	169,4	539	77	71
FRIG006	Ensemble volcanique du Nord Basse Terre	256,2	546,3	3 861,0	786,9	31%	64 661	14 392	6 850	680,6	95	21	10
FRIG004	Ensemble volcanique et sédimentaire de La Désirade	0,0	0,0	0,0	0,0	65%	0	0	0	20,3	0	0	0
FRIG005	Ensemble volcanique de Saint Martin	0,0	2,0	0,0	3,1	55%	86	9	17	54,5	2	0	0
hors MESO (Les Saintes)		0,0	0,0	0,0	0,3	0%	0	0	0	8,7	0	0	0
Total		302,3	3 545,9	15 935,0	3 065,5	-	519 005	113 541	54 749	1691,7	307	67	32

Tableau 7 : Indicateurs azote, phosphore et pesticides (Asconit-Pareto)

La représentation de la répartition des émissions de pesticides par masse d'eau souterraine est disponible dans le rapport du prestataire portant sur l'inventaire des pressions sur le district hydrographique de Guadeloupe. Cette répartition se décline sous forme d'indicateurs calculés à partir des flux de polluants et les taux d'infiltration.

Ainsi le flux est calculé comme suit :

$$\Sigma (\text{Surface cultivée pour la culture } i * \text{Qté moyenne épandue pour la culture } i) * \text{Taux d'infiltration moyen}$$

Et l'indicateur Pesticides est égal à :

$$\Sigma (\text{Surface cultivée pour la culture } i * \text{IFT pour la culture } i) * \text{Taux d'infiltration moyen}$$

Pour l'azote et le phosphore, leurs flux sont divisés par la surface de la masse d'eau pour obtenir les indicateurs azote et phosphore.

Du point de vue pression diffuse impliquée par l'élevage, sont considérées les charges en azote et phosphore par masses d'eau pour chaque catégorie de bétail (Tableau 8).

code MESO	nom MESO	Nombre de têtes de bétail					Taux d'infiltration moyen	Charge dans la MESO		Surface MESO (km²)	Indicateur N (kg / an / km²)	Indicateur P (kg / an / km²)
		Bovins	Caprins	Ovins	Porcins	Volailles		Charge rejetée en N (kg/an)	Charge rejetée en P (kg/an)			
	Rejets moyens N (kg/ha/an)	3,6	0,5	0,5	2,25	0,0225						
	Rejets moyens P (kg/ha/an)	0,85	0,13	0,13	3,3	0,0065						
FRIG001	Ensemble calcaire de Grande-Terre	22 072	3 999	200	4 288	6 406	68%	62 100	22 773	598,1	104	38
FRIG002	Ensemble calcaire de Marie-Galante	8 079	1 344	19	1 680	1 526	63%	21 028	7 889	160,1	131	49
FRIG003	Ensemble volcanique du Sud Basse Terre	1 520	393	54	1 706	1 231	57%	5 452	3 984	169,4	32	24
FRIG006	Ensemble volcanique du Nord Basse Terre	6 620	1 143	99	7 854	27 272	31%	13 261	9 893	680,6	19	15
FRIG004	Ensemble volcanique et sédimentaire de La Désirade	14	654	175	88	229	65%	434	268	20,3	21	13
FRIG005	Ensemble volcanique de Saint Martin	-	-	-	-	-	55%	-	-	54,5	-	-
Total Masses d'Eau Souterraines		38 305	7 533	547	15 616	36 664	-	102 275	44 806	1 683,0	61	27

Tableau 8 : Flux en azote et phosphore provenant du bétail s'infiltrant potentiellement vers les eaux souterraines (Asconit-Pareto)

Le Tableau 9 indique les émissions agricoles d'azote et de phosphore intégrant également les émissions provenant de l'élevage. Leur représentation cartographique est consultable dans le rapport du prestataire sur l'évaluation des pressions.

code MESO	nom MESO	Fertilisation		Elevage		TOTAL		Surface MESO (km²)	Indicateur N (kg/an/km²)	Indicateur P (kg/an/km²)
		Charge en N (kg/an)	Charge en P (kg/an)	Charge en N (kg/an)	Charge en P (kg/an)	Charge en N (kg/an)	Charge en P (kg/an)			
FRIG001	Ensemble calcaire de Grande-Terre	280 056	65 771	62 100	22 773	342 156	88 544	598,1	572	148
FRIG002	Ensemble calcaire de Marie-Galante	82 881	20 352	21 028	7 889	103 909	28 241	160,1	649	176
FRIG003	Ensemble volcanique du Sud Basse Terre	91 322	13 016	5 452	3 984	96 774	17 000	169,4	571	100
FRIG006	Ensemble volcanique du Nord Basse Terre	64 661	14 392	13 261	9 893	77 921	24 285	680,6	114	36
FRIG004	Ensemble volcanique et sédimentaire de La Désirade	0	0	434	268	434	268	20,3	21	13
FRIG005	Ensemble volcanique de Saint Martin	86	9	-	-	-	-	54,5	-	-
Total Masses d'Eau Souterraines		519 005	113 541	102 275	44 806	621 194	158 338	1 683,0	369	94

Tableau 9 : Charges en azote et phosphore potentiellement s'infiltrant vers les eaux souterraines (Asconit-Pareto)

Quant aux pollutions agricoles ponctuelles (incluant les fertilisations des sols et élevages), celles-ci sont par définition :

- soit accidentnelles, c'est-à-dire dues à une mauvaise manipulation de matériel ou un mauvais stockage de produits phytosanitaires ou de fertilisants ;
- soit chroniques et donc localisés au niveau de bâtiments d'élevage.

Au niveau de la Guadeloupe, les sites pouvant potentiellement engendrer des contaminations ponctuelles d'origine agricole ne sont pas cartographiés. Nous nous intéresserons ici uniquement aux pollutions diffuses.

### 2.1.3. Pressions d'origine industrielle et urbaine

#### a) *Cartographies des pressions urbaines*

Cette sous-partie, réalisée par un expert du BRGM, constitue un complément à l'inventaire des pressions urbaines réalisé par le prestataire.

##### ❖ **Généralités et données de base**

Qu'elle soit d'origine domestique, industrielle ou liée à l'urbanisation en général, la pollution des villes est généralement interceptée via des réseaux et acheminée vers des systèmes d'épuration. Lorsqu'aucune infrastructure n'est existante ou lorsque les réseaux de collecte ou les stations d'épuration ne fonctionnent pas correctement, la pollution non traitée se retrouve directement dans le milieu naturel provoquant des dégradations de la qualité de l'environnement : diminution de la biodiversité du milieu aquatique, perte des possibilités d'utilisation de l'eau...

La pollution des eaux liée à l'anthropisation se sépare en **deux catégories : celle d'origine urbaine et celle d'origine rurale**.

- **La pollution urbaine** : la création de routes et l'expansion des villes augmentent la superficie des surfaces imperméables ; ces dernières empêchent l'infiltration de l'eau dans le sol et favorisent les phénomènes de ruissellements qui peuvent parfois causer des dégâts (coulées de boues, inondations).

Par ailleurs, le lessivage de ces surfaces entraîne toutes sortes de polluants dans les réseaux de collecte et parfois même directement dans le milieu naturel : hydrocarbures provenant des routes ou parkings, produits phytosanitaires (traitements des routes), détergents, etc...

A ceux-ci s'ajoutent les rejets industriels, commerciaux et artisanaux...

- **La pollution rurale** : elle provient en partie des systèmes d'assainissement mais elle est également liée au lessivage des sols cultivés. Les rejets de l'assainissement individuel d'un habitat très dispersé, constituent des milliers de petits foyers de pollution ponctuelle, qui présentent dans le temps et l'espace un effet comparable à une pollution diffuse.

Les données de base pour l'estimation des pressions urbaines sont les suivantes :

- La cartographie du bâti (Source : BDTOPO – IGN) sur le territoire de Guadeloupe est composée de 190 855 polygones répartis en différentes thématiques ;
- La carte de la pression urbaine issue de BDTOPO – IGN.

La méthodologie développée pour calculer la pression urbaine est issue du travail réalisé en Martinique (rapport BRGM RP-56242-FR) et sur les études des bassins d'alimentation des captages de Guadeloupe (Dumon et al., 2011).

Pour déterminer la pression urbaine sur le territoire de Guadeloupe, deux indicateurs ont été utilisés : la présence de bâtiments ou non ainsi que leur densité.

Dans un premier temps, il a été réalisé une délimitation des zones urbanisées et des zones non urbanisées en agrégeant les données sur le bâti à une distance de 50 m (voir exemple sur Illustration 1).

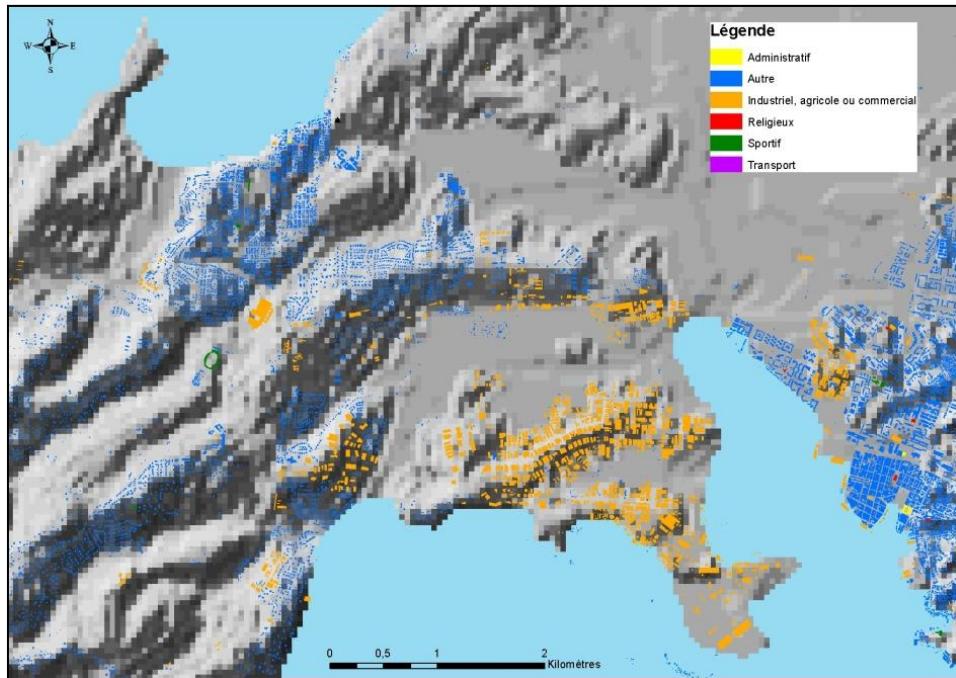


Illustration 1 : Extrait du bâti en Guadeloupe

### ❖ Résultats obtenus

Les données statistiques calculées sur la densité des bâtiments au niveau des 46240 polygones sont les suivantes (Illustration 2) :

- Minimum = 1 bâtiment par polygone
- Maximum = 4461 bâtiments par polygone
- Moyenne = 4,4, bâtiments par polygone (habitats très diffus)

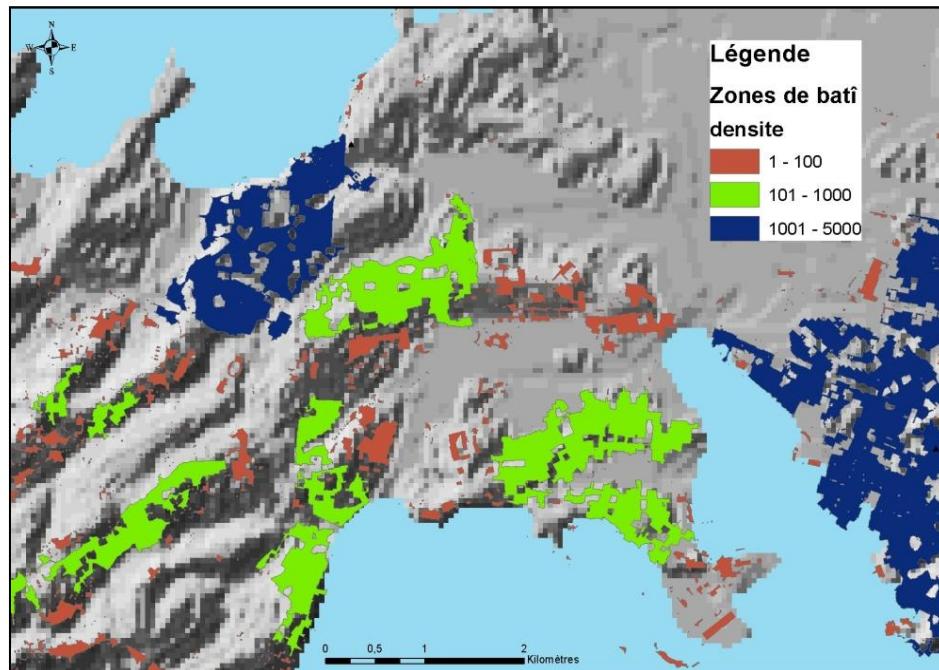


Illustration 2 : Extrait du calcul de la densité du bâti

A partir de ces données statistiques et en observant la répartition de cette densité, un système de cotation a été proposé pour évaluer la pression urbaine :

- une pression urbaine égale à 1 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est inférieure à 10 bâtiments par polygone ;
- une pression urbaine égale à 10 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure à 10 et inférieure à 1000 bâtiments par polygone ;
- une pression urbaine égale à 100 a été affectée aux polygones dont la valeur de densité est supérieure ou égale à 1000 bâtiments par polygone.

Les densités de bâti ont ensuite été agrégées à l'échelle des unités fonctionnelles en suivant la même méthode que celle exposée au chapitre 2.2.2. Cette couche d'information est utilisée pour l'analyse du lien entre les pressions industrielles et urbaines et leur impact sur les eaux souterraines (Illustration 23, Illustration 24 et Illustration 25).

#### **b) Assainissement collectif et non collectif**

En terme d'assainissement collectif, la Guadeloupe compte environ 400 stations d'épuration dont 20 ont une capacité de plus de 2000 EH (équivalent habitant). La capacité totale de ces stations représente près de 50% de la population de l'archipel (état des lieux, 2005). La localisation des stations d'épuration de capacité supérieure à 2000 EH est disponible dans le rapport livré par le prestataire. Ici, les STEP impactant les masses d'eau souterraine ne sont pas indiquées, ceci ne concernant que les eaux côtières, de surface et les estuaires.

Le rapport du SDMEA de Guadeloupe estime le rejet de DBO5 dans les eaux souterraines à environ 136 kg/jour selon la répartition par masse d'eau suivante :

Code MESo	Pollution rejetée en DBO5 (kg/jour)
FRIG001	40,582
FRIG002	20,8
FRIG003	36,27
FRIG006	38,39

Tableau 10 : Pollution « Assainissement collectif » en DBO5 rejetée en 2010 sur chacune des masses d'eau souterraine (Asconit-Pareto)

Quant à l'assainissement non collectif, celui-ci représente en 2008, selon le SDMEA, 60% des habitations en Guadeloupe. La grande majorité des dispositifs d'assainissement autonome répondent correctement le plus souvent à leur fonction d'évacuation des eaux usées dans le sous-sol, mais rarement à leur vocation d'épuration des eaux usées et de protection du milieu naturel.

Il est donc difficile d'évaluer le taux de population non raccordée par masse d'eau ainsi que la part de la pollution induite par ces dispositifs et susceptible d'atteindre le milieu notamment le milieu marin. Toutefois, selon le SDMEA, le rendement global de l'assainissement autonome est de 10%, soit 90% de rejets non traités directement évacués vers le milieu naturel (masses d'eau souterraine, de surface, littorales,...).

Les estimations faites pour les masses d'eau souterraines concluent à un déversement quasi-total de l'assainissement autonome non côtier, de façon diffuse dans ces masses d'eau. Les quantités estimées de DBO5 pour ce compartiment sont donc importantes. De plus, les chiffres indiqués dans le Tableau 11 sont sous-estimés puisque sur les 1500 habitations interrogées

lors d'enquêtes dans le cadre de diagnostics de l'assainissement des communes, seules 270 ont répondu, soit 20%.

CODE MESO	NOM	Origine pollution	Pollution DBO5 rejetée dans la ME (kg/jour)
<b>FRIG001</b>	Grande-Terre	100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Morne à l'Eau 50% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du SIAEAG 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du SMNGT	4082,15
<b>FRIG002</b>	Marie-Galante	100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du CCMG 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Cap Excellence	1356,10
<b>FRIG003</b>	Sud Basse-Terre	100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Tois-Rivières 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Vieux Fort 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du CCSBT 10% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du SIAEAG	2083,33
<b>FRIG006</b>	Nord Basse-Terre	100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Deshaies 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du Lamentin 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier de Sainte-Rose 35% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du SIAEAG 100% des rejets de l'assainissement autonome non cotier du CISCSV	4517,90

Tableau 11 : Pollution de l'assainissement autonome en DBO5 rejetée dans les masses d'eau souterraine (Asconit-Pareto)

### c) Pression Rejets industriels

L'inventaire des rejets industriels prend compte des Installations Classées de Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation en Guadeloupe. On peut considérer en Guadeloupe que les pressions industrielles sont uniquement de type « ponctuel ». Quatre types d'ICPE sont considérés (Illustration 3) :

- Les industriels liés à la filière canne/rhum ;
- Les centrales thermiques ;
- Les décharges ;
- Les carrières.

#### ❖ Filière canne/rhum

Entre 2003 et 2012, la pollution organique produite par les distilleries et sucreries et rejetée au milieu naturel a diminué de 97,5% suite à la régularisation de la situation administrative des distilleries/sucrerie au titre de la réglementation ICPE. Des travaux de mise en conformité sur la gestion des effluents aqueux ont ainsi été réalisés depuis 2005. Cependant, les pressions exercées par certaines de ces industries liées à la filière canne/rhum restent tout de même

significatives ; c'est le cas pour les masses d'eau de Grande-Terre, Marie-Galante et Sud Basse-Terre (Tableau 12).

Société	Type	Lieu du rejet	Masse d'eau concernée	Rejets effectués en 2003 (EH)	Rejets effectués en 2006 (EH)	Rejets effectués en 2010 (EH)	Rejets effectués en 2012 (EH)	OBSERVATIONS
<b>Bellevue (Marie-Galante)</b>	Distillerie	Ravine Balisier	FRIG002	7568	68	129	84	lagunage naturel avec rejet dans ravine Balisier
<b>Bielle (Marie-Galante)</b>	Distillerie	lagunage naturel	FRIG002	4717	0	0	0	lagunage naturel puis rejet dans une doline
<b>Damoiseau</b>	Distillerie	épandage	FRIG001	28 304	0	0	0	compostage des boues en externe
<b>Gardel</b>	Sucrerie	épandage	FRIG001	178 513	0	0	0	Epandage
<b>Longueteau</b>	Distillerie	Ravine Jean Bourgeois	FRIG003	8346	7434	nd	nd	lagunage naturel avec rejet dans ravine Bourgeois. Absence de suivi des rejets
<b>Poisson (Marie-Galante)</b>	Distillerie	épandage	FRIG002	5039	5039	nd	nd	épandage (10%) et rejet non autorisé dans une doline

Tableau 12 : Caractéristiques des ICPE ( filière canne) et évolution des flux 2003-2012 (Asconit-Pareto)

### ❖ Les centrales thermiques

Six centrales thermiques sont implantées en Guadeloupe dont deux rejettent leurs effluents en ravines. Les autres centrales évacuent leurs effluents en mer. Le Tableau 13 indique bien que la masse d'eau de la Grande-Terre subit des pressions significatives dues aux rejets industriels de la CTM. Aucune donnée n'est disponible pour Caraïbes Energie, mais les caractéristiques de ses rejets sont probablement similaires à ceux de la CTM.

Etablissement	Milieu de rejet	Masse d'eau concernée	Flux (m <sup>3</sup> /an)	DBO5 (kg/an)	DCO (kg/an)	Equivalent-Habitants (EH)
Caraïbes Energie	Ravine Gavaudière	FRIG001	nd	nd	nd	nd
Centrale Thermique du Moule	Ravine Gavaudière puis Rivière d'Audoin	FRIG001	283549	3864	10572	428

Tableau 13 : Caractéristiques des rejets industriels des centrales électriques (DEAL, 2013)

Toutefois, même si la plupart des centrales rejettent leurs effluents en mer, ils peuvent potentiellement avoir un impact localisé sur les masses d'eau souterraines. Ceci concernant les sites d'Energie Antilles, EDF Jarry Sud, EDF Jarry Nord et EDF Saint Martin (Illustration 4).

## RÉVISION DE L'ETAT DES LIEUX 2013

Rejets industriels

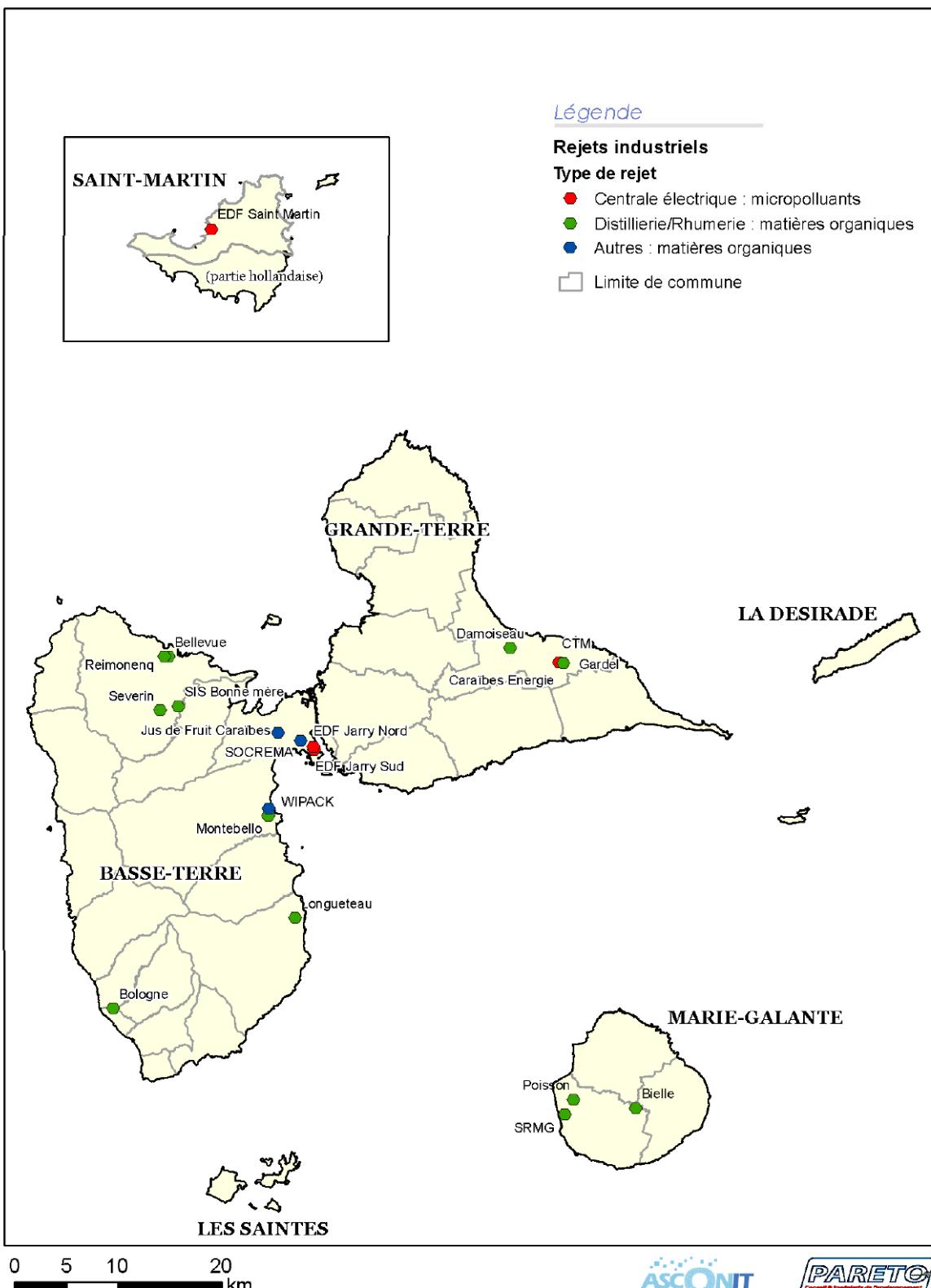


Illustration 3 : Carte des rejets industriels (Asconit-Pareto)

### ❖ Décharges

A ce jour, 16 décharges sont encadrées de manière réglementaire en Guadeloupe (Illustration 4). Dans un contexte où les régimes pluviométriques sont importants, la quantité de lixiviats produits peut être importante. En fonction des caractéristiques du sous-sol, leur transfert vers les nappes peut constituer une pression pour les eaux souterraines.

Les décharges sont localisées sur l'ensemble de l'archipel guadeloupéen (Illustration 4). Ainsi toutes les masses d'eau souterraine possèdent dans leur périmètre une décharge qui pourrait, théoriquement, exercer une pression (Tableau 14).

Grande-Terre (FRIG001)	Marie-Galante (FRIG002)	Sud Basse-Terre (FRIG003)	La Désirade (FRIG004)	Saint-Martin (FRIG005)	Nord Basse-Terre (FRIG006)	Les Saintes
7	3	1	1	1	1	2

Tableau 14 : Nombre de décharges recensées par masse d'eau

Par ailleurs, dans le cadre de l'action nationale RSDE, la surveillance a été imposée aux Installations de Stockage des Déchets Non Dangereux (ISDND) de SITA Espérance et la Gabarre. A ce jour, seul l'exploitant SITA Esperance situé sur la commune de Sainte Rose a réalisé la surveillance initiale (DEAL-Service RED, 2013). Des concentrations moyennes en cuivre et zinc dépassant les NQE ont été relevées dans les eaux pluviales sur ce site (2,83 µg/l et 5,33 µg/l respectivement). Cependant, aucune corrélation avec les eaux souterraines n'est possible ici en raison de l'absence de données sur les éléments traces au droit du centre de stockage. De plus les décharges représentent de très faibles superficies par rapport à l'étendue des MESO et il est donc peu probable qu'une décharge réglementée (donc construite de manière à limiter les infiltrations/rejets dans l'environnement) puisse exercer une pression « significative » sur les masses d'eau.

Quant aux décharges non réglementaires, aucune donnée n'est disponible dans l'inventaire réalisé par le prestataire.

### ❖ Autres sites et sols potentiellement pollués

23 sites et sols pollués ou potentiellement pollués sont recensés par le prestataire et représentés dans l'Illustration 4 (source : BASOL). Cinq d'entre eux, différents de ceux cités précédemment, constituent des pressions pour les eaux souterraines.

Sites et sols pollués	Masses d'eau potentiellement concernée
Station service Esso	FRIG001
Station service Total	FRIG006
Dépôt pétrolier SARA	FRIG006
Incinérateur DASRI	FRIG006
Caribéenne de Recyclage	FRIG006

Tableau 15 : Autres sites et sols pollués pouvant potentiellement impacter les eaux souterraines

Toutefois, aucune donnée portant sur les émissions de polluants émanant de ces sites n'est disponible.

### ❖ Carrières

L'extraction des ressources minérales est potentiellement génératrice de pressions sur les masses d'eau en raison de l'apport de matières en suspension notamment dans les systèmes

karstiques, fracturés ou fissurés. Cependant, les carrières de tuf calcaire, principalement localisées en Grande-Terre et Marie-Galante, n'induisent des pressions que de niveau non significatif à faible sur les milieux aquatiques (DEAL).

A contrario, les carrières de granulats durs sont jugées comme ayant potentiellement une pression significative sur le milieu et plus spécifiquement sur les eaux de surface et littorales. Celles-ci sont situées sur le nord Basse-Terre, la Désirade et Saint-Martin (Tableau 16).

Exploitant	Lieu Carrière	Nature du matériel exploité	Capacité de production (m <sup>3</sup> )	Commentaires	Masse d'eau concernée
SADG	Guyonneau, Deshaies	Granulats durs	10000000	rejets en rivière, puis dans un étang	FRIG006
SCGC	Hope Hill, Saint-Martin	Granulats durs	1700000	aucune donnée actuellement	FRIG005
SABLIERES DE GUADELOUPE	Rivière-Sens, Gourbeyre	Granulats durs	6000000	rejet en mer	FRIC01
SOFAGRADE SARL	Auvent, Désirade	Granulats durs	13750	éloignée de la mer	FRIG004

Tableau 16 : Caractéristiques des carrières de granulats dur en Guadeloupe (SDC, 2013)



Illustration 4 : Site et sols potentiellement pollués (Asconit-Pareto)

## 2.2. CHOIX DES METHODES ET EVALUATION DES RELATIONS PRESSION / ETAT / IMPACT

La première étape de l'analyse des impacts consiste à évaluer les pressions pouvant s'exercer, de manière significative, sur les masses d'eau souterraine. Dans le cas présent, l'inventaire général des pressions étant disponible (étude ASCONIT-PARETO), il s'agit d'effectuer une première évaluation de la qualité (état) de l'eau et d'estimer les pressions susceptibles d'avoir permis un changement de l'état des masses d'eau souterraine.

Les résultats du premier volet de l'étude « état des MESO de Guadeloupe » (Rapport BRGM/RP-62685-FR) seront utilisés.

Les méthodes à employer doivent permettre à la fois :

- d'identifier les pressions à l'origine du risque, nécessaires pour décliner le programme de mesure par type de pressions, comme l'exige le rapportage et d'estimer le RNAOE (en considérant les changements de pression) ;
- d'identifier les éléments de qualité susceptibles d'être affectés, nécessaires pour construire le contrôle de surveillance, définir les impacts selon la nomenclature de la Commission Européenne et, dans le cas où une exemption est demandée, mettre en évidence les éléments de qualité (paramètres pour les eaux souterraines) sur lesquels porte l'exemption (information exigée pour le rapportage communautaire).

Il n'est pas nécessaire de connaître la relation entre pression et impact sur toute la gamme des valeurs de pression, mais de faire des liens suffisamment fiables entre un ensemble de pressions qui s'appliquent à une masse d'eau donnée et un état observé ou mesuré. Ce point est d'autant plus important que le cumul de pressions de natures différentes est aussi à prendre en compte pour évaluer le risque.

Au vu des données collectées (BRGM, OE971), une méthode de travail adaptée est ici proposée pour travailler à l'échelle du bassin Guadeloupe. Ce travail s'inspire des méthodes développées dans les guides nationaux existants, notamment le guide « pressions-impacts » pour la mise à jour de l'état des lieux DCE (2012) ainsi que des méthodes éventuellement appliquées sur des bassins de Métropole.

Les pressions sur les eaux souterraines requises dans le cadre du rapportage peuvent être classées selon des aspects respectivement quantitatifs et qualitatifs.

### 2.2.1. Pressions et impacts, aspect quantitatif

#### a) Pressions et impacts liés aux prélèvements

Deux méthodes existent pour déterminer les impacts liés aux prélèvements sur les eaux souterraines :

- la première consiste à évaluer, par masse d'eau souterraine (MESO), le ratio entre les prélèvements (volumes exploités / consommés) et la recharge estimée ;
- une seconde méthode est proposée pour les masses d'eau captives. Il s'agit d'établir une pression « surfacique » de prélèvement rapportée à la commune. Les masses d'eau suivies en Guadeloupe étant toutes « à surface libre », cette méthode n'est pas appropriée au contexte.

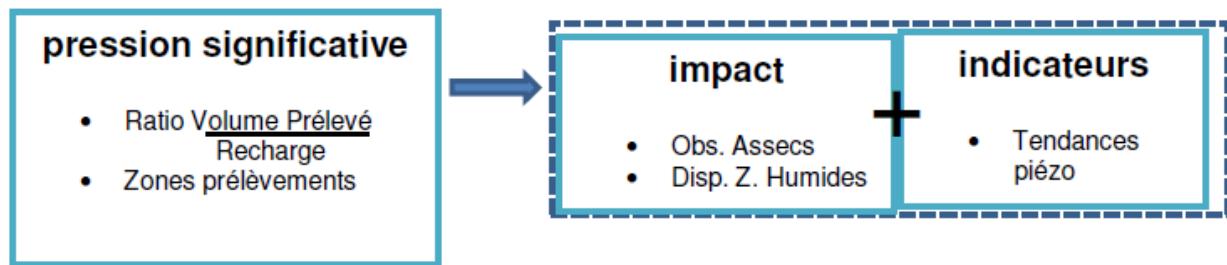


Illustration 5 : Méthodes d'évaluation des pressions liées aux prélèvements

Deux approches ont été appliquées dans cette étude afin de déterminer les impacts sur les eaux souterraines liés aux prélèvements :

- la première consistant en un traitement statistique de données aux points d'eau sans considération des interactions et évolution sur l'ensemble de la masse d'eau et donc sans modèle hydrodynamique ;
- la seconde impliquant le modèle hydrodynamique développé pour la masse d'eau de Grande-Terre.

Dans le but d'obtenir une certaine homogénéité de l'information à l'échelle du bassin, l'approche statistique au point a été utilisée sur l'ensemble de l'île, y compris la MESO Grande-Terre pour laquelle on dispose d'un modèle maillé.

En l'absence d'impacts directs mesurables (comme l'assèchement de rivières ou zones humides par exemple), une première estimation de l'état de la masse d'eau du point de vue quantitatif a été réalisée à partir d'une estimation des tendances d'évolution des niveaux piézométriques et détection d'éventuelles ruptures qui pourraient être liées aux prélèvements. Les calculs de tendance / rupture ont été réalisés avec l'outil HYPE sur les points utilisés pour le suivi quantitatif des masses d'eau souterraine (Tableau 17). L'outil a été développé pour tester les tendances des paramètres chimiques mais il est possible, en première approximation, d'utiliser cette outil pour l'analyse de chroniques piézométriques. Sur Grande-Terre et Marie-Galante, ces chroniques ont au moins 10 ans de données et 5 ans sur la Désirade.

Massé d'eau souterraine	Point d'eau	Identifiant national BSS	Début du suivi
Grande-Terre (FRIG001)	Montrésor	1133ZZ0002/P	1985
	Girard	1135ZZ0033/P	1975
	Belin	1135ZZ0039/P	1975
	Richeval	1140ZZ0010/P	1984
	Laroche	1140ZZ0024/F	1984
	Corneille	1141ZZ0032/F	1985
	Chateaubrun	1149ZZ0003/P	1971
	Sainte-Marthe	1150ZZ0001/P	2003
	Reneville	1150ZZ0007/F	1986
	Gentilly	1149ZZ0014/P	1986
	Beausoleil	1148ZZ0009/F	1996
Marie-Galante (FRIG002)	Belle-Place	1148ZZ0024/P	2004
	Champfrey	1160ZZ0018/S	1998
	Fond Du Riz	1160ZZ0031/P	2003
	Couderc	1163ZZ0021/S	1998
	La Treille	1163ZZ0003/F	1998
	Coulisse	1164ZZ0001/F	2004
	Poisson	1160ZZ0001/F	1978
	Dorot	1161ZZ0003/F	1981
La Désirade (FRIG004)	Marie-Louise	1160ZZ0032/F	2003
	Pioche	1143ZZ0032/PUITS	2008
	Fontanier	1143ZZ0031/PUITS	2008

Tableau 17 : Liste des points d'eau du réseau de suivi quantitatif des masses d'eau souterraine de Guadeloupe utilisés pour les calculs statistiques

Les tendances ont été calculées en utilisant le module saisonnier, effectuant un test de Kendall saisonnier, en l'occurrence ici mensuel, qui permet de rechercher si d'un mois de janvier à l'autre, d'un mois de février à l'autre et ainsi de suite, il y a une tendance. Le Tableau 18 fournit :

- p-value du test de Kendall saisonnier en considérant comme période le mois ;
- statistique tau du test de Kendall saisonnier en considérant comme période le mois ;
- interprétation du test de Kendall saisonnier ou raison pour laquelle le test n'a pas été effectué.

CODE_BSS	Point d'eau	p-value - Kendall saisonnier mois	Tau - Kendall saisonnier mois	Tendance - Kendall saisonnier mois
1133ZZ0002/P	Montrésor	6.80E-05	0.161	0.00167 m/an
1135ZZ0033/P	Girard	0	0.234	0.0147 m/an
1135ZZ0039/P	Belin	2.77E-10	0.085	0.00963 m/an
1140ZZ0010/P	Richeval	0	0.162	0.0105 m/an
1140ZZ0024/F	Laroche	0	0.103	0.01 m/an
1141ZZ0032/F	Corneille	0	0.272	0.0172
1143ZZ0031/PUITS	Fontanier	0	0.294	0.161 m/an
1143ZZ0032/PUITS	Pioche	7.31E-06	0.067	0.01 m/an
1148ZZ0009/F	Beausoleil	0	0.241	0.06 m/an
1148ZZ0024/P	Belle-Place	0	0.130	0.0466 m/an
1149ZZ0003/P	Chateaubrun	0	0.341	0.0297 m/an
1149ZZ0014/P	Gentilly	0	0.334	0.0264 m/an
1150ZZ0001/P	Sainte-Marthe	0	0.253	0.0106 m/an
1150ZZ0007/F	Reneville	0	0.332	0.0545 m/an
1160ZZ0001/F	Poisson	0	0.297	0.006 m/an
1160ZZ0018/S	Champfrey	0	0.519	0.0363 m/an
1160ZZ0031/P	Fond Du Riz	0	0.375	0.24 m/an
1160ZZ0032/F	Marie-Louise	0	0.273	0.005 m/an
1161ZZ0003/F	Dorot	0	0.524	0.0233 m/an
1163ZZ0003/F	La Treille	0	-0.201	-0.0062 m/an
1163ZZ0021/S	Couderc	1.81E-07	0.074	0.004 m/an
1164ZZ0001/F	Coulisse	3.33E-14	-0.115	-0.0049 m/an

Tableau 18 : Résultats du test de Kendall saisonnier

Sur les 22 points d'eau pour lesquels le test a été réalisé, seuls 2 montrent une tendance à la baisse, La Treille et Coulisse. Il est à noter que ces deux points d'eau sont situés sur le littoral sud de Marie-Galante. Pour ces deux points, nous avons réalisé un test de détection de rupture sur les chroniques en prenant en compte une valeur par mois, pour diminuer l'effet d'autocorrélation.

Sur La Treille, aucune tendance significative n'est détectée sur l'ensemble de la chronique (Illustration 6). Une rupture est détectée fin 2003, mais il est peu vraisemblable qu'elle soit liée à une modification des pressions.

Sur Coulisse, une tendance, non significative compte tenu de l'autocorrélation, est détectée sur l'ensemble de la chronique (Illustration 7). Une rupture est détectée début 2009 avec inversion de tendance, cette dernière repartant à la hausse.

### 1163ZZ0003/F / niveau

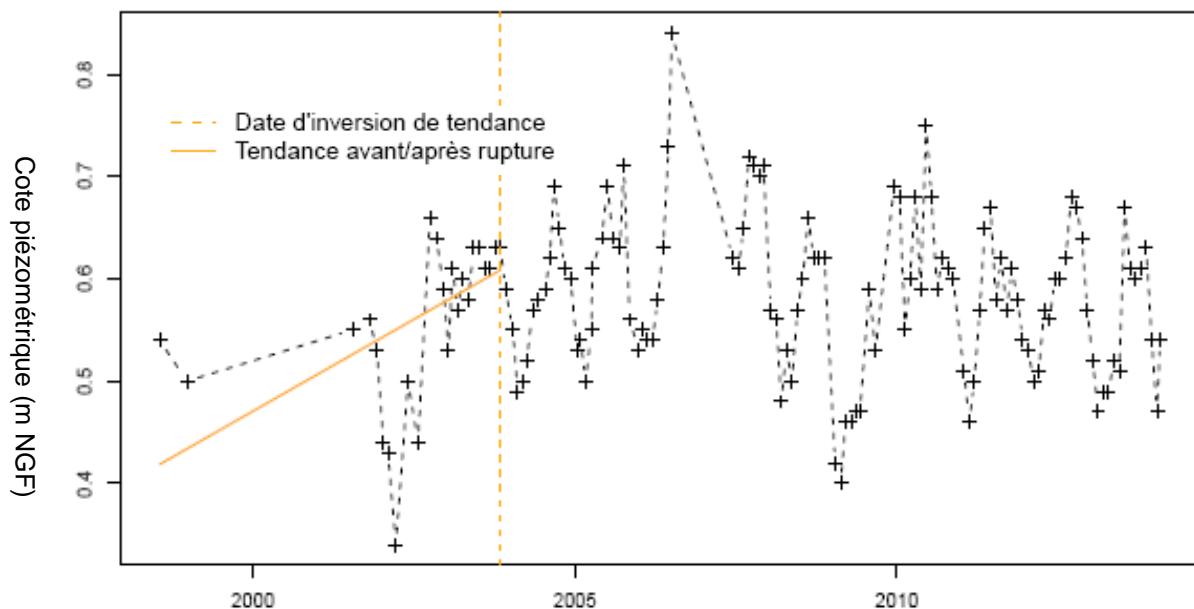


Illustration 6 – Test de tendance / rupture sur le point d'eau La Treille

### 1164ZZ0001/F / niveau

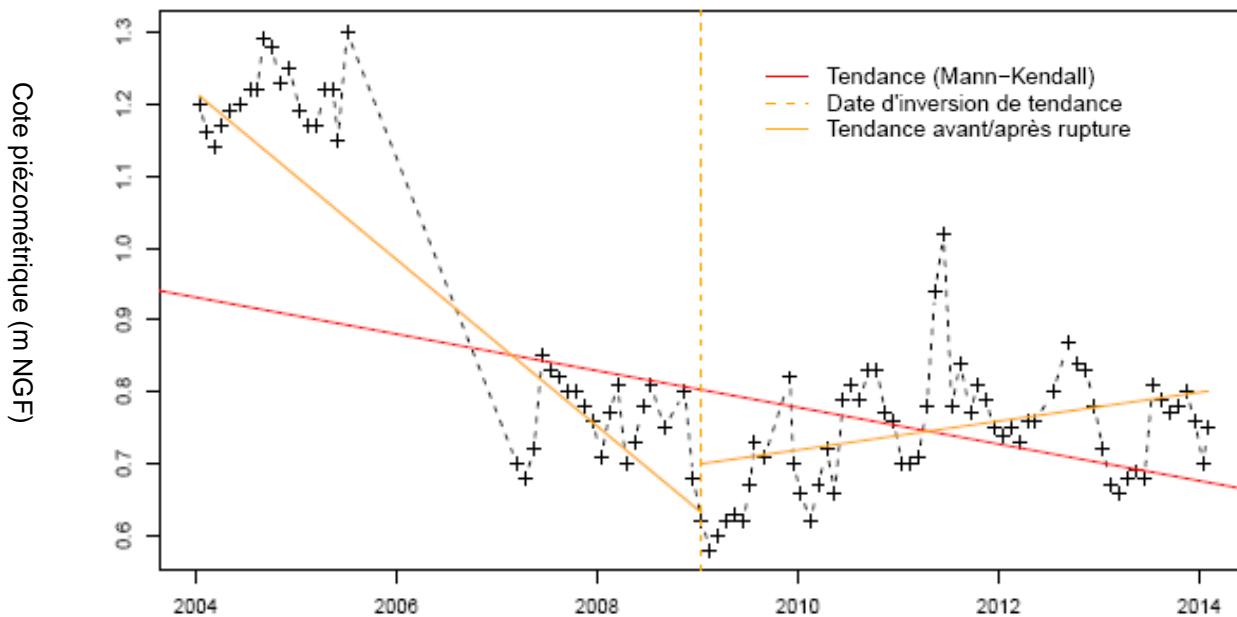


Illustration 7 – Test de tendance / rupture sur le point d'eau Coulisses

Sur la base de ces calculs de tendances / ruptures, on peut en conclure que l'on n'observe pas, pour les données récentes, d'impacts à moyen terme liés aux prélèvements sur les eaux souterraines.

Un deuxième indicateur de l'impact des pressions de prélèvement sur les eaux souterraines est l'existence possible d'une augmentation de l'intrusion saline du fait de pompage excessifs.

Des études ont déjà identifié des concentrations élevées pour les éléments chlorures et sodium expliquées par la contribution du biseau salé à l'alimentation des nappes (plus particulièrement celle de Grande-Terre FRIG001).

Les évolutions du faciès chimique des eaux et/ou l'augmentation de la conductivité dans le temps en lien avec l'action de pompage dans la nappe ont donc été étudiés dans ce chapitre afin d'estimer plus significativement les impacts sur les nappes d'eau souterraine exploitées par forage (Grande-Terre FRIG001 et Marie-Galante FRIG002).

La zone des Plateaux du Nord de la Grande-Terre est un secteur particulièrement sensible aux intrusions marines. Le diagramme de Piper (Illustration 8) a été établi avec les données chimiques du réseau DCE de 2008 à 2013. Celui-ci montre que certains captages présentent des eaux tendant vers un faciès chloruré-sodique, c'est le cas des captages de Pelletan et Charropin situés au centre des Plateaux du Nord. De plus le captage de Charropin présente depuis plusieurs années des teneurs en chlorures supérieures à la norme (250 mg/L). Par ailleurs, selon l'Illustration 9 représentant le faciès des eaux de certains de ces captages sur la période 1996 à 2009, l'influence marine semble être moins importante sur le forage de Pelletan. Toutefois ces seules données chimiques ne permettent pas de confirmer une diminution de l'influence marine.

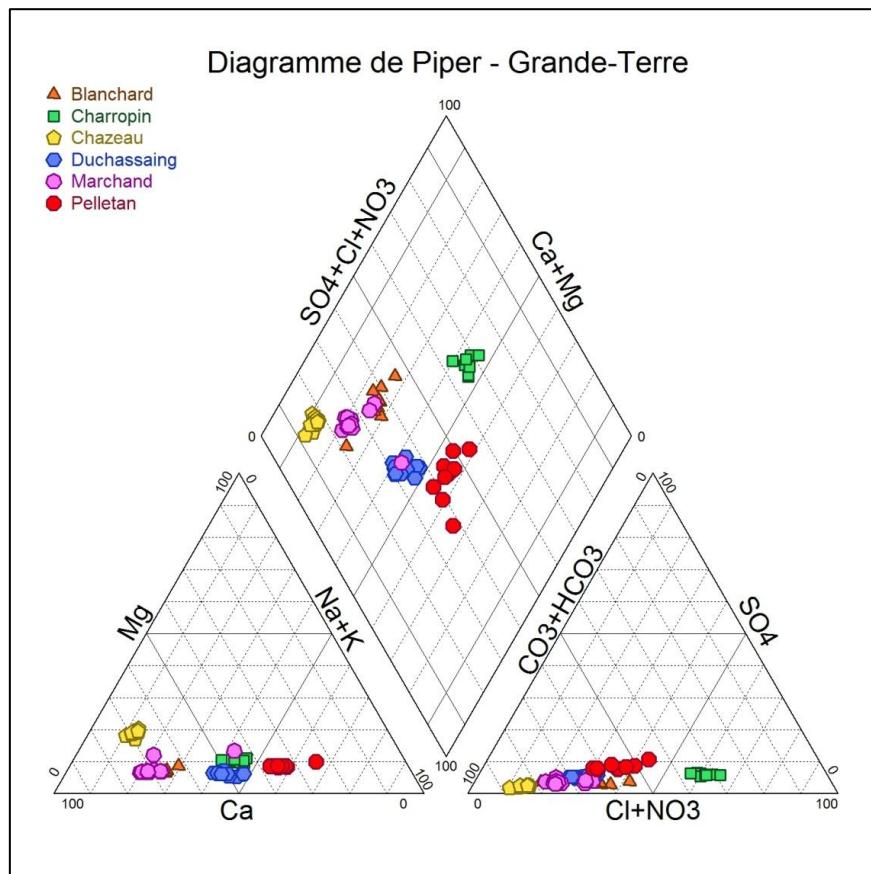


Illustration 8 : Faciès des eaux souterraines de Grande-Terre au droit de captages AEP (2008 à 2013)

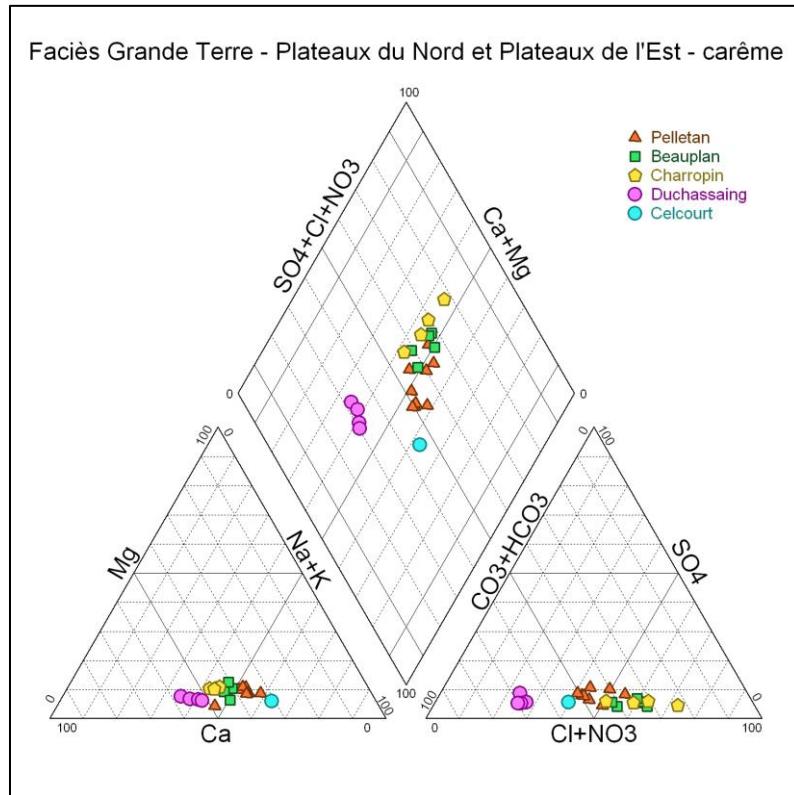


Illustration 9 : Faciès des eaux souterraines de Grande-Terre au droit de captages AEP (1997 à 2009)

Concernant l'influence possible des prélevements sur l'évolution de l'intrusion saline, lorsque ceux-ci sont en augmentation, les teneurs en chlorures et la conductivité semblent évoluer de la même façon. C'est le cas par exemple du forage de Charropin situé dans le Nord Grande-Terre (Illustration 10 et Illustration 11). Ce phénomène est observable sur d'autres captages tels que Beauplan et Pelletan (situés également dans le Nord Grande-Terre).

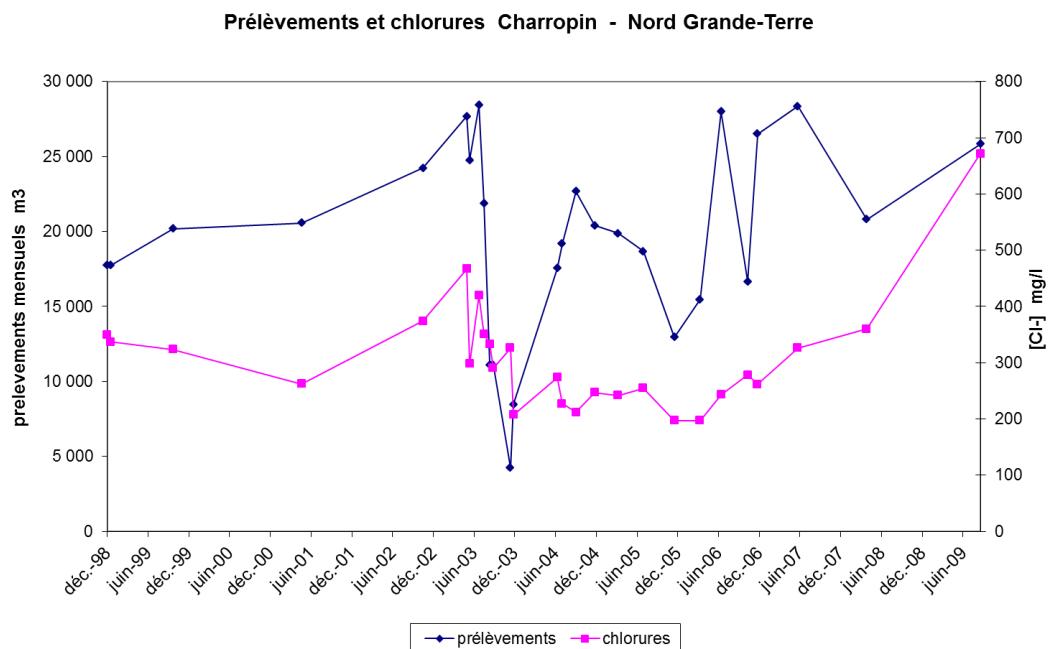
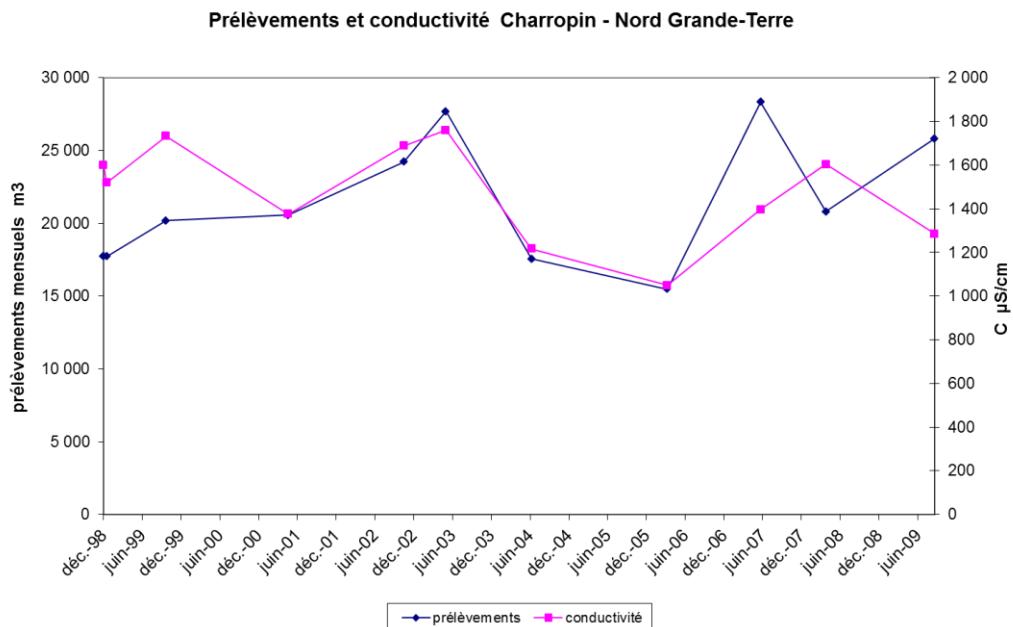


Illustration 10 : Chroniques des prélevements et des teneurs en chlorures au forage Charropin



*Illustration 11 : Chroniques prélèvements et conductivité au forage Charropin*

Sur une exploitation de données de 1996 à 2009, les teneurs en chlorures et les conductivités les plus élevées (Marie-Galante compris) concernent les Plateaux du Nord. En 1988, Paulin a démontré que la nappe n'est affectée par aucun phénomène de salinité à grande échelle dans le nord Grande-Terre. La salinité de la nappe dans cette zone étant due à une remontée locale du biseau sur les points de pompage. Cependant, ceci est potentiellement contestable aujourd'hui, la situation ayant pu évoluer depuis.

Au vu des études antérieures et des données chimiques au droit de captages situés dans les Plateaux du Nord, les prélèvements semblent dégrader la qualité des eaux souterraines dans ce secteur. La pression prélèvement aurait ainsi un impact localisé sur la nappe de Grande-Terre.

Concernant Marie-Galante, le diagramme de Piper représente les données issues du réseau de surveillance qualitative DCE de 2008 à 2013 et du contrôle sanitaire de certains captages en 2008 et 2009 (Illustration 12). Les eaux souterraines de Marie-Galante ont un faciès bicarbonaté-calcique sans tendance vers un faciès chloruré sodique. A savoir que les points considérés ici sont situés au centre du système hydrogéologique des Hauts où la présence d'un substratum volcano-sédimentaire imperméable est avérée, empêchant ainsi une remontée verticale du biseau salé. En revanche, la plupart des captages situés sur la bordure littorale de l'île ont dû être fermés et condamnés en raison de salinisation des forages (captages de la Treille et Coulisses). Il n'a pas été possible de déterminer la cause naturelle ou anthropique de cette salinisation ; les entités contactées – notamment l'entreprise chargée de l'exploitation des eaux souterraines de l'île de Marie-Galante - n'étant pas en mesure de nous affirmer si un rapport de diagnostic existe ou non.

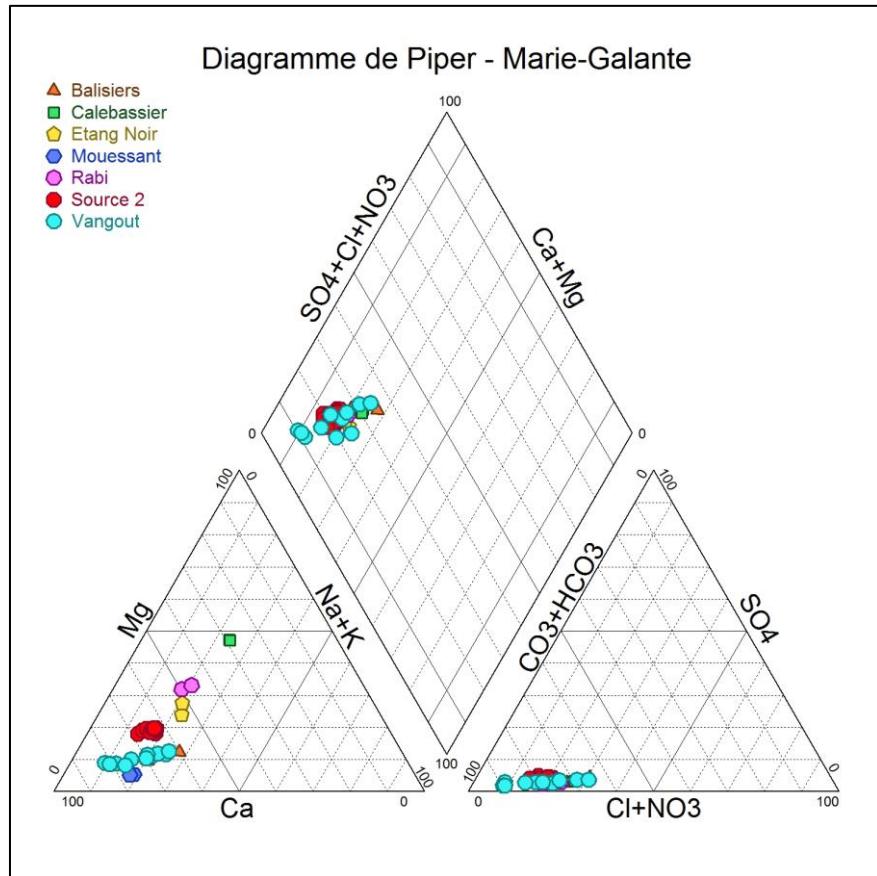


Illustration 12 : Diagramme de Piper – Marie-Galante (de 2008 à 2013)

Compte tenu du contexte insulaire, les aquifères guadeloupéens sont sensibles à cette problématique d'intrusion saline. La connaissance de la position du biseau salé à l'échelle de la nappe est alors fondamentale. Dans le cadre de la réalisation de la cartographie de l'interface eau douce-eau salée en Grande-Terre (rapport intermédiaire BRGM/RP-62694-FR), des reconnaissances géophysiques par panneaux électriques ont été réalisées. Les objectifs étant les suivants :

- déterminer la position actuelle et la nature de l'interface eau douce-eau salée dans les secteurs réputés sensibles ;
- analyser son évolution depuis la dernière campagne de localisation (années 1969-1972) afin de rendre compte de l'évolution de l'état quantitatif et qualitatif de la ressource et de l'impact des pratiques en usage depuis 40 ans.

La réalisation de la carte de localisation de l'interface eau douce-eau salée (Illustration 13) est basée sur 18 sites de mesures répartis sur l'ensemble de la Grande-Terre. Celle-ci implique des interpolations et extrapolations par application de la loi de Ghyben-Herzberg.

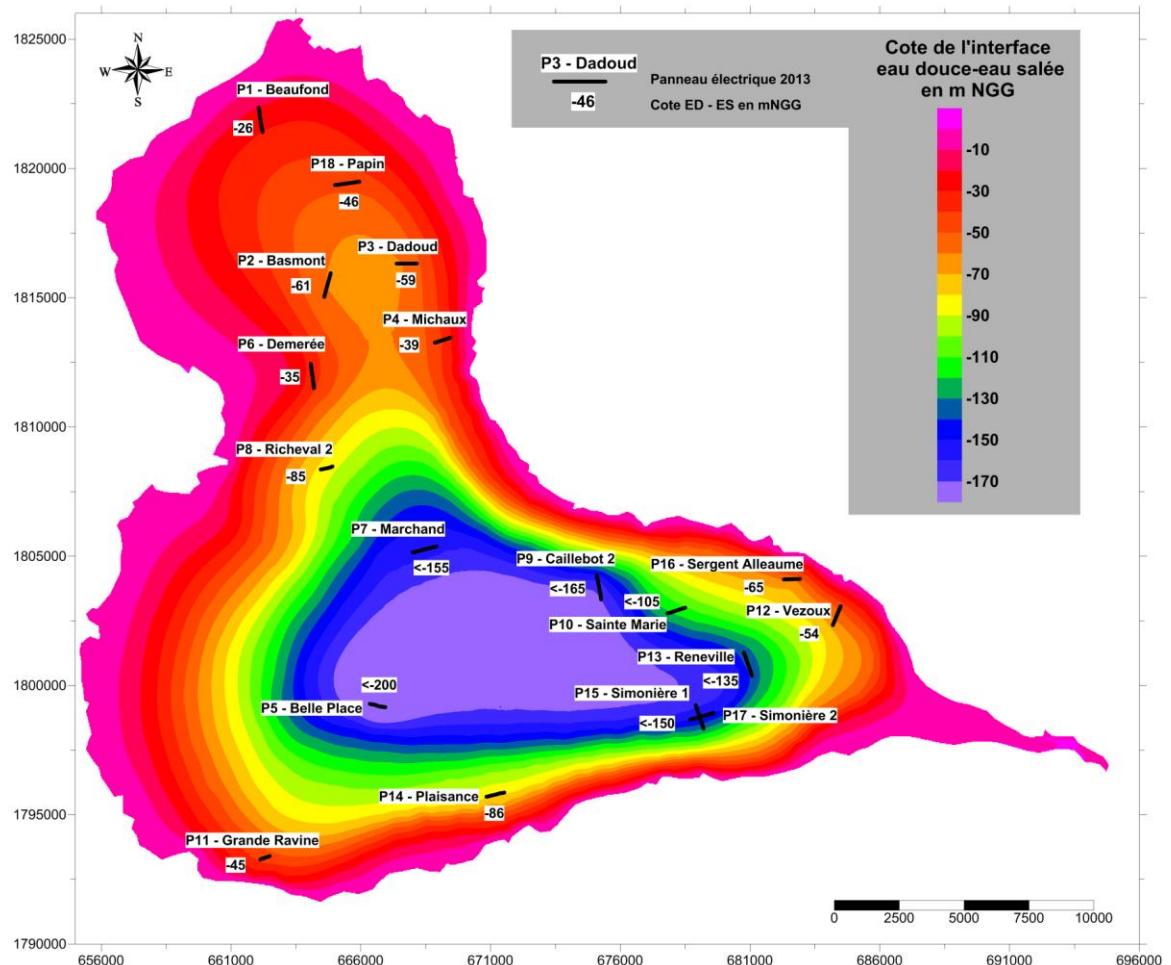


Illustration 13 : Cote de l'interface eau douce - eau salée à l'issue des investigations géophysiques de 2013. Carte en iso-contours et plages de couleur

L'analyse de l'évolution de l'interface eau douce - eau salée entre la période 1969-1972 et la nouvelle campagne de mesures de 2013 montre, en règle générale, que l'invasion salée serait en retrait sauf au niveau des sites Basmont (P2) et Demerée (P6) où la cote de cet interface ED-ES serait respectivement passée de -70 à -61m NGG et de -45 à -35m NGG. Ces interprétations doivent être considérées avec précaution, puisque les méthodes d'interpolations – et donc les incertitudes en découlant – et les localisations des profils sont différentes entre les deux campagnes.

Cependant, il a été possible de noter une avancée légère du front salé au niveau de la plaine côtière occidentale et la partie des Plateaux du Nord. Ce resserrement de l'interface à l'est du profil P6-Démérée, secteur déjà soumis à de fortes pressions de prélèvements, indique donc bien un impact due aux prélèvements d'eau sur les captages des Plateaux du Nord (captages Charropin et Pelletan).

Ces investigations géophysiques ont alors permis d'établir une classification des secteurs en fonction de leur degré de sensibilité à l'invasion salée pour la masse d'eau de Grande-Terre :

- Zones très sensibles :
  - Façade occidentale des Plateaux du Nord
  - Façade occidentale des Grands Fonds (Plaine des Abymes)
  - La pointe orientale des Plateaux de l'Est (Pointe des Châteaux)
- Zones sensibles :
  - Toute la frange littorale entre la côte et l'isohypse -75 m NGG de l'interface ED-ES, ce qui englobe pratiquement toute la zone des Plateaux du Nord et la partie occidentale de la plaine de Gripon
- Zones peu sensibles voire sans risque
  - Toute la partie centrale des Grands Fonds
  - Toute la partie centrale et occidentale de Plateaux de l'Est
  - L'extrémité méridionale des Plateaux du Nord
  - Les trois-quarts SE de la Plaine de Gripon

Remarque : ce projet de cartographie de l'interface eau douce – eau salée est en cours de finalisation. Les résultats pourraient en effet être précisés à court terme en utilisant les données issues de la couverture héliportée en magnétisme et électromagnétisme haute résolution réalisée en avril 2013 à l'échelle de la Guadeloupe.

### 2.2.2. Pressions et impacts, aspect qualitatif

Afin d'étudier les relations Pressions-Impacts dans cette partie, les pressions recensées au chapitre 2.1 ne sont pas complètement considérées dans ce chapitre. Une pression unique (estimation de flux de polluant par exemple) à l'échelle de l'ensemble de la masse d'eau souterraine ne permet pas une analyse fine des Pressions-Impact. Une approche plus qualitative a donc été utilisée afin de permettre de travailler à une échelle plus pertinente. De plus, concernant les pressions agricoles, un bilan global n'est pas suffisant ; il est important de tenir compte des pratiques, des périodes d'épandages, des rotations etc... afin d'évaluer une pression significative sur les eaux souterraines.

#### a) Analyse de la vulnérabilité des eaux souterraines de Guadeloupe

Les pressions seront représentées par unités fonctionnelles. La donnée « source » utilisée pour estimer les pressions liées à l'activité agricole (pressions azotées et phytosanitaires) est le Registre Parcellaire Graphique (RPG). Néanmoins, l'échelle « à la parcelle » n'est clairement pas adaptée à l'évaluation des pressions/impact car trop fine pour permettre une caractérisation à l'échelle de la masse d'eau. De plus, les masses d'eau de Guadeloupe ont d'autre part une superficie particulièrement importante et englobent des contextes géologiques, de vulnérabilité intrinsèque et/ou de pression particulièrement contrastés. C'est la raison pour laquelle ces masses d'eau souterraine ont été subdivisées en secteurs ou unités fonctionnelles de plus de 0,5 km<sup>2</sup> (Illustration 14). Ces dernières constituent ainsi les unités de travail pour la caractérisation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines ainsi que la plupart des représentations cartographiques des analyses des relations pressions/impacts.

Cette méthodologie a été développée et éprouvée dans différentes études, notamment lors de l'élaboration des cartes de vulnérabilité en France métropolitaine et sur d'autres territoires d'Outre-Mer (BRGM/RP-56283-FR ; BRGM/RP-53106-FR ; BRGM/RP-56593-FR).

Dans le cadre de la présente étude, ces unités fonctionnelles ont été créées en croisant les bassins versants de surface de la BD Carthage (version 2012) et les formations géologiques vectorisées (Illustration 14). Elles ont été calculées pour les masses d'eau souterraine de Basse-Terre, Grande-Terre et Marie-Galante. Leur mode de construction les rend cohérentes sur le plan géo-hydrogéologique et permet ainsi un rendu homogène.

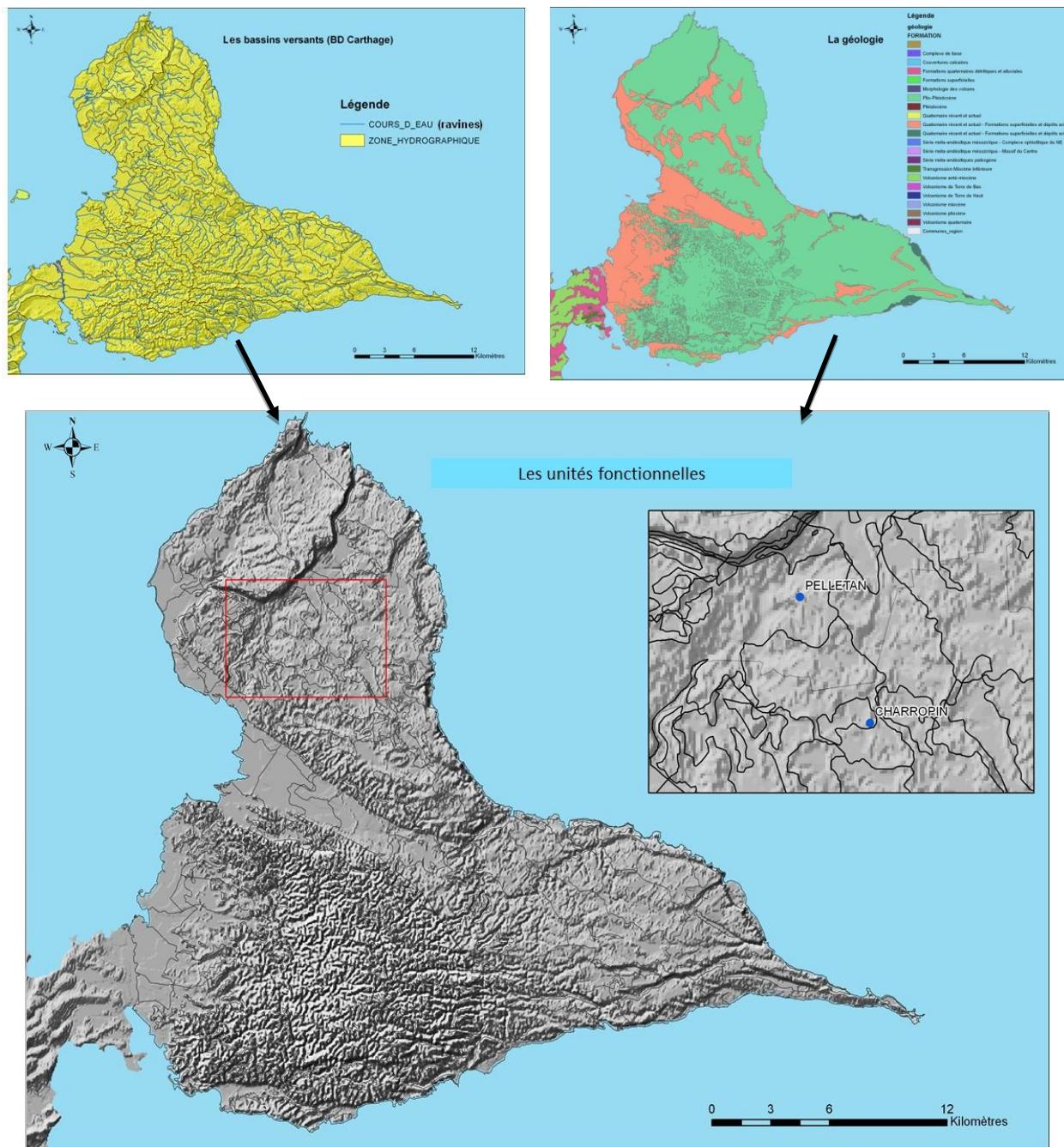


Illustration 14 – Exemple : Les unités fonctionnelles de Grande-Terre

**b) Relation pressions et impacts des pollutions diffuses d'origine agricole**

**1) Les pressions significatives**

❖ **Rappel des cycles culturaux de la banane et de la canne à sucre**

Il a été jugé utile de présenter les cycles culturaux de la banane et de la canne à sucre car ces cultures ont un mode d'exploitation relativement particulier. La compréhension de ce mode d'exploitation peut aider à mieux cerner les pressions.

Ce rapport se focalise sur ces deux cultures car elles représentent une part importante de l'économie locale mais surtout de l'emprise foncière (Tableau 19).

Code MESO	Surfaces en ha						Part de la surface de la MESO (%)						
	Ananas	Banane	Canne à sucre	Autre Marai-chage	Bois, prairies	Total surfaces agricoles	Surface totale MESO	Ananas	Banane	Canne à sucre	Autre Marai-chage	Bois, prairies	Total surfaces agricoles
FRIG001	4,6	455,9	8557,5	1258,4	7098,8	17375,1	59810	0,01%	0,76%	14,31%	2,10%	11,87%	29,05%
FRIG002	0,0	2,6	2975,4	131,0	2159,3	5268,3	16010	0,00%	0,02%	18,58%	0,82%	13,49%	32,91%
FRIG003	41,6	2539,1	541,1	885,8	1939,4	5946,9	16940	0,25%	14,99%	3,19%	5,23%	11,45%	35,11%
FRIG006	256,2	546,3	3861,0	786,9	2563,0	8013,4	68060	0,38%	0,80%	5,67%	1,16%	3,77%	11,77%
FRIG004	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0	2030	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,23%	1,23%
FRIG005	0,0	2,0	0,0	3,1	467,7	472,9	5450	0,00%	0,04%	0,00%	0,06%	8,58%	8,68%
hors MESO	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	1,6	869	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,14%	0,18%
Total	302,3	3545,9	15935,0	3065,5	14254,5	37103,1	169169	0,18%	2,10%	9,42%	1,81%	8,43%	21,93%

Tableau 19 : répartition des surfaces agricoles par masse d'eau souterraine (Asconit-Pareto)

**Cycle culturelle de la banane**

Lorsqu'il est mis en place, le plant de banane peut rester plusieurs années en terre. Il peut néanmoins arriver que des parcelles soient cultivées de manière pérenne. Les plants sur les parcelles sont généralement détruits au bout de quatre à cinq ans car les rendements diminuent. Les rendements diminuent pour différentes raisons. Une des principales raisons est la perte de densité due à la chute de certains plants à cause du parasitisme (IT2, 2011).

Si une bananeraie est détruite, elle peut être replantée le cycle suivant sur la même parcelle. Il est tout de même conseillé de réaliser une rotation et si possible d'insérer une jachère (IT2, 2011). Deux types de cycle sont donc à distinguer dans une bananeraie, celui où la plantation est réalisée et les suivants.

Le premier cycle de culture d'un bananier est celui de la mise en place au champ des plants. Ces plants peuvent provenir de rejets (voir ci-dessous), de souches ou de culture in vitro. L'objectif principal de l'utilisation de culture in vitro est de disposer de plantes plus saines, en particulier indemnes de nématodes, de virus et de bactéries.

Une fois plantée, la tige centrale (qui est souvent confondue avec un tronc) va grossir. Au cours de sa croissance végétative, le bananier va émettre d'autres tiges depuis la base sous la forme de rejets latéraux. Ces rejets vont être coupés, cette pratique est appelée œillettonnage. Dans une bananeraie déjà établie, cette pratique permet de sélectionner les rejets les plus intéressants afin de maintenir un nombre constant de pieds productifs. De plus, elle permet de sélectionner les rejets les plus performants en évitant les phénomènes de concurrence. En cas de besoin, il est possible de réduire la densité, ou inversement l'augmenter (IT2, 2011).

Les soins aux régimes commencent dès l'émergence de l'inflorescence. Les feuilles susceptibles de gêner le développement du régime, ou risquant d'abîmer les fruits par frottement, sont enlevées. Cette opération consiste à découper ou écarter les feuilles en contact avec l'inflorescence. Dans la mesure du possible, cette pratique est limitée au maximum afin de ne pas diminuer le potentiel photosynthétique du bananier.

Durant la floraison, le bourgeon mâle et les dernières rangées de fleurs sont supprimés afin de privilégier la croissance des fleurs supérieures qui donneront les fruits. L'ensemble des fruits, appelé régime, est ensuite gainé à l'aide d'un film de polyéthylène pour être protégé.

Le marquage des régimes se fait également durant la floraison et permet les prévisions de récolte. En effet, les différents régimes arrivés à ce stade sont marqués d'une bande de couleur spécifique dans le but de connaître leur âge et de prévoir la date de récolte à un âge physiologique déterminé.

Les bananes sont récoltées en respectant le calendrier défini aux champs. Le but est que les bananes arrivent vertes et non mûres après leur transport, la maturation étant provoquée de manière artificielle en mûrisserie. Le stade de récolte sera donc fonction des délais et des conditions prévalant entre la coupe et l'entrée en mûrisserie.

#### ***Cycle cultural de la canne à sucre***

Lorsqu'ils sont implantés, les plants de canne sont généralement à renouveler tous les 4 à 8 ans (CA Martinique, 2007b) bien qu'il soit possible d'observer des parcelles qui restent en canne à sucre jusqu'à dix ans. Ainsi, il faut distinguer deux cycles cultureaux, celui d'implantation de la canne et celui où la plantation est déjà en place.

La multiplication de la canne à sucre se fait par bouture. Lors de la mise en place des boutures, entre juin et septembre (CA Martinique, 2007b), plusieurs phases successives sont distinguées. Les plants de cannes sont déposés dans un sillon (qui forme le rang) dont la profondeur peut atteindre 0,5 mètre de profondeur. Dans les cultures commerciales de cannes, des plants de cannes provenant de pépinières sont recouvertes de 3, 5 à 10 cm de terre selon les propriétés du sol (perméabilité, humidité). Les rangs/sillons sont généralement espacés de 1,6 à 1,8 mètres (CA Martinique, 2007b), afin de ménager de la place pour les machines, les ouvriers et des canaux d'irrigation. Cette habitude entraîne une faible densité des exploitations. Une augmentation des rendements est permise par des densités plus élevées mais entraîne des difficultés pour la mécanisation.

Durant la première année, la canne nécessite un désherbage (mécanique, chimique ou par paillass) car la concurrence des adventices en début de culture entraîne une baisse notable des rendements finaux en sucre. Une fois les plants bien développés, la couverture végétale qu'ils assurent suffit à empêcher la repousse des adventices.

Le cycle cultural peut être résumé ainsi (les dates dépendent des exploitations et des conditions rencontrées durant l'année). 2 à 4 semaines après la mise en terre des boutures, les premières tiges apparaissent. Entre 5 à 7 mois environ, c'est la période de croissance végétative de la canne. En fin de croissance, la végétation s'arrête et l'inflorescence apparaît. Cette phase a surtout lieu pendant la période de chaleur et de grosses pluies. A la fin du septième mois, commence la phase de maturation, elle peut durer ensuite 6 mois. Elle est caractérisée par un arrêt de croissance de la canne lors de la période froide accompagnée de faibles pluies.

Selon la date de plantation, il est possible de couper les cannes vierges dans les 12 mois qui suivent la plantation (février-juin). Dans le cas d'une première plantation, elle marque la fin d'un

premier cycle. Après la première coupe, commence la phase de croissance et de maturation des premières repousses. Elles durent environ 12 mois après la coupe des cannes vierges. Par la suite, la coupe des repousses aura lieu tous les 12 mois en moyenne.

Les récoltes se manifestent par un découpage de la tige de la canne à sa base. Une fois coupée, il reste une faible partie visible sortant du sol. Ce découpage est dû au fait que le sucre se concentre en partie basse de la tige. La canne présente une période de maturation en saison sèche où le taux de sucre augmente fortement et où de nombreuses feuilles sèchent. La floraison débute ensuite, suivie de la production de graines. Ces deux éléments entraînent une baisse du taux de sucre. La canne est donc généralement récoltée juste avant la floraison ou à son début. Un ou deux effeuillages des feuilles mortes avant la récolte sont parfois pratiqués, afin de faciliter le travail des coupeurs.

### ❖ **Les pressions azotées**

#### ***Pressions dues à l'exploitation de la banane***

Un calcul a été réalisé pour connaître la pression en nitrates qu'il était possible d'attendre d'une bananeraie. Pour ce calcul, une densité de 1900 pieds/ha sera sélectionnée, cette densité semble assez répandue en Guadeloupe (CA Martinique, 2007a; IT2, 2011). Cette densité est une hypothèse car elle dépend du cultivar mis en place et du choix d'exploitation de la parcelle (mécanisation, ligne simple/ligne jumelée).

Le plan de fertilisation est assez complexe car il est extrêmement fractionné et dépend de l'année de la culture. Lors de la mise en place de la culture (la première année), et dans un cas où la fertilisation ne serait que minérale, jusqu'à 16 applications peuvent être apportées. En Guadeloupe en effet, il est actuellement conseillé de réaliser de nombreux apports en petites quantités (IT2, 2011). Cette pratique ne fait pas l'unanimité puisque certains pensent que des applications trop petites favorisent les pertes (Danielles et al., 1996). Pour le calcul, ces préconisations ont été néanmoins suivies. Les deux premières applications, à réaliser durant les quatre premières semaines après l'installation des plants, représentent chacune 8,5 kg/ha. Les autres entre la huitième semaine et la soixantième représentaient chacune 25,5 kg/ha (IT2, 2011). Ces valeurs amènent à un total d'environ 375 kg/ha. Cette valeur correspond bien à la valeur total fournie pour la fertilisation d'une bananeraie (CA Martinique, 2007a; IT2, 2011).

Pour les cycles suivants, une réduction de la fertilisation doit être réalisable pour prendre en compte l'immobilisation de l'azote (notamment dans la tige). Certaines publications proposent une fertilisation entre 150 et 300 kg de N/ha pour des bananeraies en place (Danielles et al., 1996) mais des valeurs plus importantes peuvent être relevées (CA Martinique, 2007a).

En ce qui concerne les pertes d'azote lors de la récolte, elles ont aussi été calculées dans le cadre de ce travail. Il est généralement admis que 1,6 kg d'azote sont exportés par tonne de bananes récoltées. En reprenant une densité de 1900 pieds/ha, il est possible de prétendre à une récolte de 30T/ha. Cette valeur moyenne dépend de la conduite de culture en fonction des cultivars mis en place et des exploitations. Cette valeur est néanmoins tout à fait réaliste au regard des chiffres des statistiques agricoles pour la Guadeloupe (Laurent, 2011b). Ceci amène à une exportation d'environ 50 kg de N/ha. Puisque 375 kg/ha ont été apportés (voir ci-dessus), cela signifie que 325 kg/ha restent immobilisés dans la bananeraie. Ceci est tout à fait plausible pour la première année car la tige doit être créée. La plante immobilise une valeur très importante d'azote lors de son développement. La bibliographie fait état d'une immobilisation de 388 kg/ha pour une culture ayant un rendement de 50T/ha (IT2, 2011). Cette valeur est néanmoins trop importante pour les années suivantes. Cette surfertilisation des bananeraies a déjà été discutée (Danielles et al., 1996) y compris en Guadeloupe (Thieuleux,

2006). Ces surfertilisations ne vont pas nécessairement aboutir à la nappe (l'objet de l'étude ici) ; certains pensent plutôt que l'abus de fractionnement va, sous le climat des caraïbes, augmenter la volatilisation plutôt que la lixiviation.

#### ***Pressions dues à l'exploitation de canne à sucre***

La canne à sucre ne semble pas être une culture très exigeante du point de vue fertilisation azotée. Pour une première année d'exploitation, une fertilisation d'environ 120 kg de N/ha est conseillée si possible fractionnée une première fois lors de la préparation du sol, avant recouvrement, au fond du sillon et une seconde fois 21 jours après la plantation.

La fertilisation sur les cycles suivants se situe dans les mêmes ordres de grandeurs, c'est-à-dire aux alentours de 120 kg de N/ha pour un rendement espéré de 100 tonnes de canne/ha. Les rendements visés sont généralement de 80 tonnes de canne/ha sur Basse-Terre et 60 tonnes de canne/ha sur Grande-Terre et Marie-Galante. Un fractionnement est préconisé pour les apports (CA Martinique, 2007b). La fertilisation de tous les cycles est à peu près identique car, une fois coupée, il reste très peu d'azote immobilisé dans la canne (essentiellement dans les racines). Il est possible néanmoins de considérer que les résidus de récolte laissés sur la parcelle (feuilles et hauts de tige) vont fournir de l'azote en se dégradant.

Les résidus laissés au sol peuvent être pris en compte dans la fertilisation. Ils n'apportent que 10 à 20 % de l'azote total contenu à l'origine dans les tiges et feuilles du fait des pertes lors de leur décomposition à la surface du sol. La quantité des restitutions au sol dépend des techniques de récolte et de ramassage (Pouzet et al., 2001).

Les exportations d'azotes (c'est-à-dire les pertes lors de la récolte) peuvent être estimées par calcul. Pour un rendement commercial de 100 t/ha et environ 60 t/ha de résidu, il est possible de considérer que la plante a besoin de 50 kg de N/ha pour ses tiges (seule partie exportée), de 100 kg de N/ha pour ses feuilles (soit 150 environ pour les parties au-dessus du sol) et 50 kg de N/ha pour les racines soit 200 kg de N/ha de besoins totaux (Bakker, 1999).

Le rendement moyen de la canne à sucre entre 2000 et 2009 sur l'ensemble de la Guadeloupe est d'environ 72 T/ha (Laurent, 2011a). Les fertilisations observées sont généralement en cohérence avec cet objectif.

D'une manière générale, la fertilisation était plus importante à la fin des années 1990. Les taux d'application d'engrais ont baissé fermement jusqu'à la fin des années 2000. Ces réductions sont dues à l'amélioration des connaissances agronomiques mais aussi aux prix des engrains élevés depuis 2008 (Wang et al., 2008).

#### ***Cas particulier de l'élevage***

Le cheptel ovin, caprin et porcin est présent sur l'archipel. La charge d'azote moyenne par type d'élevage peut être calculée en utilisant des tables de référence par animal. Cela peut permettre d'estimer la pression par type d'élevage.

En ce qui concerne l'élevage bovin, il n'est fait état d'aucun élevage bovin laitier, l'ensemble des exploitations sont tournées vers des troupeaux allaitants. En 2010, la production bovine a permis de couvrir environ 40% de la consommation de l'archipel. Les données présentent environ 40000 bovins sur les 4 îles principales (Agreste, 2013). Une étude a montré qu'environ 45% de ce cheptel était des vaches allaitantes, 45% des bovins de plus d'un an (hors vache) et 10% de bovin de moins d'un an. Ces données permettent de calculer une charge d'azote bien que la projection sur la Guadeloupe de la table métropolitaine nécessiterait sans doute des

adaptations. Il est assez délicat de donner une valeur moyenne car les études (Galan et al., 2008; Laboubee et al., 2013) ont montré que plusieurs types d'élevage très différents existaient en Guadeloupe.

Les élevages de très petite taille (<5 têtes et SAU < à 1 ha) représentent 70% des propriétaires et près de 50 % du cheptel. Un élevage moyen de 3 bêtes sur un hectare abouti à un chargement de 150 kg de N/ha. L'élevage est une activité annexe pour ces producteurs. La productivité est faible. L'élevage est exclusivement au piquet. Les produits commercialisés sont vendus en circuits courts ou autoconsommés.

Le second type d'élevage concerne les canniers avec élevage bovin (de 5 à 15 vaches). Le troisième type concerne les exploitations de polyculture/élevage. Dans ces deux cas, l'élevage comporte entre 10 et 20 vaches et la SAU moyenne de l'exploitation est comprise entre 8 et 15 ha. Un élevage de 10 bêtes sur 11 hectares abouti à un chargement de 50 kg de N/ha. Ces élevages représentent 35 à 40 % de la production et 20 % du cheptel. Dans la première catégorie, les exploitants valorisent la canne à sucre et surtout ses coproduits de manière fourragère. La conduite du troupeau se fait par pâturage et au piquet. Dans la seconde catégorie, les exploitants pratiquent une conduite d'élevage sur pâturage tournant. La gestion des fourrages est différente avec une fertilisation assez régulière des prairies avec l'engrais utilisé pour la canne.

Le dernier type concerne les éleveurs herbagers qui possèdent plus de 15 vaches par exploitation. Ils représentent 10 à 15 % du cheptel avec des exploitations ayant des SAU moyenne entre 20 et 40 ha. qui se trouvent plutôt à Basse-Terre. Un élevage de 15 bêtes sur 20 hectares aboutis à un chargement de 40 kg de N/ha. La récolte de fourrage est fréquente. Les prairies sont fertilisées et implantées en graminées pérennes. La conduite de l'élevage se fait par pâturage tournant avec complémentation.

En ce qui concerne les élevages bovins, la pression s'échelonne donc de faible à moyen.

La charge d'azote pour les élevages porcins a été réalisée selon la même méthode que pour les élevages bovins. Selon les données, environ 20000 porcs sont présents sur l'archipel (Agreste, 2013) avec une population de truies de 2100. Comme pour les bovins, il existe une diversité dans les élevages (Galan et al., 2008; Laboubee et al., 2013). En effet, deux types d'exploitations cohabitent. D'abord, les petits élevages avec un cheptel de 5 à 10 truies. C'est un système naisseurs-engraisseurs pour la plupart. Ce système représente 10% de la production locale et 10% du cheptel de truies. Les bâtiments sont sommaires avec parfois un engrangement en plein air. L'alimentation peut se faire à base de coproduits de l'exploitation. Un second type d'élevage majoritaire peut être distingué avec un cheptel de 30 à 40 truies. Ils représentent 65 % de la production locale et 55 % du cheptel de truies. L'alimentation est totalement sous forme de concentrés achetés. Les bâtiments sont souvent récents.

Pour les caprins, la même opération peut être réalisée. Les données présentent environ 15000 caprins sur les 4 îles principales (Agreste, 2013) avec environ 5000 brebis. Un seul type d'élevage est généralement décrit (Galan et al., 2008; Laboubee et al., 2013). En Guadeloupe, les pratiques sont presque exclusivement de type naisseurs-engraisseurs. L'élevage n'est généralement pas l'activité principale de l'exploitation. La majorité des troupeaux se composent de 15 à 25 femelles. La conduite du troupeau se fait avec des changements de pâturage. Des compléments en concentré sont parfois ajoutés. La surface occupée par ces élevages est en moyenne de 2 ha. En considérant, un troupeau de 10 femelles, un chargement de 83 kg de N/ha est obtenu ce qui est relativement moyen.

La filière avicole représente une partie faible de l'élevage en Guadeloupe. Deux filières sont à distinguer : les poulets de chair et les poules pondeuses (Laboubee et al., 2013). La population de poulets a été estimée à 100000 poulets. Cela correspond à un chargement de 2500 kg de N/ha. Dans cette filière, il s'agit souvent de doubles actifs avec un atelier en activité secondaire. Ce système représente 12 % de la production locale. Ils sont souvent équipés d'un bâtiment semi-ouvert. Il peut également s'agir d'exploitations de polyculture/élevage, un atelier de poulets en complément de revenu. Cela représente environ 80 % de la production. Les bâtiments semi-ouverts permettent d'élever entre 500 à 1 000 poulets par an. La population de poules a été estimée à 206000 poules pondeuses. Cela correspond à un chargement de 100940 kg de N/ha. Dans cette filière, il s'agit d'élevages traditionnels ou de petits ateliers pour la vente locale en circuits courts. Il existe aussi des systèmes spécialisés qui, en 2005, représentaient 94% des effectifs et 96% de la production locale d'œufs. Les bâtiments sont généralement semi-ouverts.

Les exploitations d'élevages décrites ci-dessus peuvent être entremêlées à des parcelles en canne ou en banane mais l'essentiel des parcelles sont des parcelles toujours en herbes destinées exclusivement à accueillir les animaux. La plupart des exploitations ont adopté un mode d'élevage extensif (peu d'animaux pour de grandes surfaces de pâtures/d'herbe). La pression de ces élevages peut donc être considérée comme faible ou moyenne. Il n'est néanmoins pas impossible de détecter des concentrations en animaux fortes lorsque les surfaces en herbes sont insuffisantes.

#### ***Bilan sur les pressions azotées à l'échelle de la Guadeloupe***

Compte tenu des informations récoltées sur les fertilisations des cultures principales de la Guadeloupe, il est possible d'affecter une pression forte pour la banane. En effet, le bilan fertilisation/besoin de la banane est très déséquilibré. Une pression moyenne est affectée à la canne à sucre car le bilan fertilisation/besoin est bien équilibré. Le cas des élevages est délicat à traiter du fait de sa très grande diversité. Dans cette étude, il a été décidé de placer les parcelles en herbe susceptibles d'accueillir des effluents d'élevages comme pression azotée du point de vue des nitrates. Dans une étude similaire réalisée en Martinique (Pinson et al., 2008), une pression forte avait été allouée à cette activité. Ceci montre bien la difficulté de juger ce type de pression.

Type de cultures	cotation
- Prairie permanente (si épandage)	3
- Bananes destinées à l'exportation, bananes « créole »,	3
- Autres légumes de plein champ, Canne à sucre	2
- Mangue, Goyave, Melon, Horticulture ornementale de plein champ	1
- Ananas, agrumes, Autres vergers, autres cultures	1
- Café, Igname, Tubercules tropicaux, Vanille	1
- Jachère, Savane pâturée, culture sous tonnelle	1
- Bois et végétation arbustive, Friche (non cultivées et non pâturées)	1

3 : pression forte, 2 : pression moyenne, 1 : pression faible

Tableau 20 : Hiérarchisation et cotation de la pression « Produits azotés » pour les eaux souterraines en fonction du type de culture en Guadeloupe

## ❖ Les pressions en produits phytosanitaires

### *Pressions dues à l'exploitation de la banane*

Le **charançon noir du bananier**, *Cosmopolites sordidus*, est un insecte phytopophage inféodé aux bananiers. C'est l'un des ravageurs les plus importants des bananiers et plantains. Sa lutte chimique est assez délicate car la seule matière actuellement homologuée contre le charançon est le fosthiazate (20g par plant). C'est avant tout un produit nématicide à action insecticide secondaire - aucun insecticide spécifique contre le charançon n'est homologué. C'est pourquoi la lutte biologique, qui a fait ses preuves aujourd'hui, est recommandée (IT2, 2011).

Les **cercosporiose**s sont des maladies des feuilles du bananier causées par des champignons microscopiques. Elles entraînent un dessèchement important de la surface foliaire. Contrôler la (ou les) cercosporiose(s) permet de conserver jusqu'à la récolte du régime un nombre suffisant de feuilles saines conditionnant la croissance normale des fruits. Une surface foliaire amoindrie par la maladie entraîne des perturbations dans le fonctionnement du bananier et donc une baisse des rendements et de la qualité. Deux traitements sont préconisés actuellement : l'huile paraffinique (elle a une action fongistatique, qui bloque le développement du champignon et retarde l'apparition des premiers symptômes) et les fongicides systémiques (qui ont une action curative et préventive sur les jeunes stades de la maladie). Peu de familles de fongicides sont autorisées. Le difénoconazole et le propiconazole sont autorisés depuis quelques années (ACTA, 2008) tandis que le fenpropidine et le trifloxystrobine sont plus récents (E-phy, 2014). Les risques de résistance vis-à-vis des produits systémiques sont élevés, c'est pourquoi l'alternance de traitement à l'huile seule et de mélange huile/fongicide est nécessaire.

Les **thrips** sont des insectes de petite taille (1 à 2 mm), allongés et qui possèdent des ailes étroites bordées de longs cils caractéristiques. Les dégâts majeurs résultent de l'alimentation des adultes par la ponction du contenu de l'épiderme des fruits, qui prend un aspect argenté ou rougeâtre (IT2, 2011). Le seul insecticide homologué est le spinosad (0,1 l/ha en 2 applications, (E-phy, 2014).

Les **adventices** se développent en inter-rang et entrent en compétition avec les plants de banane. Leur gestion est particulièrement importante la première année lors de la mise en place de la bananeraie. Du glyphosate ou du paraquat (Fournier, 2007) peut être utilisé en inter-rang contre la prolifération des adventices.

D'autres produits phytosanitaires peuvent être utilisés sur une bananeraie. En effet, des produits phytosanitaires sont utilisés durant la destruction de l'ancienne bananeraie. Lorsqu'une bananeraie devient insuffisamment productive, elle est généralement détruite par utilisation d'un herbicide totale. Chaque bananier adulte et les rejets suffisamment développés sont généralement traités avec une injection de glyphosate. Cette injection est réalisée en un seul passage sur l'ensemble des bananiers afin de permettre une destruction mécanique rapide de la parcelle. Un herbicide total est utilisé car les racines et les bulbes d'une bananeraie constituent la principale source d'inoculum en nématodes. En dévitalisant les bananiers avec un herbicide systémique qui agit jusqu'aux parties souterraines (bulbes et racines), l'inoculum peut être éliminé. Lors du traitement, une seringue est utilisée pour injecter le produit dans le pseudo-tronc du bananier. 4ml de produit dilué à 50% avec de l'eau, ou 2 ml si le produit est utilisé pur sont préconisés (IT2, 2011).

Les destructions de bananeraies sont de plus en plus courantes car elles permettent de briser les cycles parasitaires. En effet, une problématique de la production de bananes est la pression parasitaire élevée (charançons, cercosporiose) favorisée par les conduites basées sur des

monocultures sans rotation. Elle a été longtemps gérée par une utilisation forte de pesticides et de fongicides notamment le chlordécone, interdit en 1993. Les itinéraires techniques et les systèmes de cultures évoluent fortement depuis les années 2000, mais surtout après 2007 par l'introduction de jachère et de plantation par culture in vitro.

#### ***Pressions dues à l'exploitation de canne à sucre***

Un nombre important d'herbicides est autorisé sur la canne. Ils sont utilisés en pré-levée ou en post-levée en fonction de la flore (CA Réunion, 2013). Les produits homologués en pré-levée sont le S-métolachlore (2l/ha), le pendiméthaline (3l/ha), l'isoxaflutole (133g/ha), la métribuzine (1,25kg) et le mélange S-métolachlore+mésotrione+bénoxacor (3,75l/ha). En post-levée, les produits homologués sont la mésotrione (1,5l/ha), le 2,4-D(2l/ha), le dicamba (0,6l/ha), le fluroxypyr (1l/ha) et le mélange mésotrione+nicosulfuron (0,75l/ha).

En 2007, les produits étaient légèrement différents ainsi que les doses (Hatiflissn, 2007). En pré-levée de la canne et des adventices, il était possible d'appliquer du diuron (2,25l/ha), du métolachlore (3,75l/ha), de la mésotrione (3,75l/ha) et de la pendiméthaline (5l/ha). En post-levée de la canne et des adventices sur graminée, il était possible d'appliquer du diuron (2,25l/ha) et de l'asulame (9l/ha).

Lors de l'année de plantation, une application de produit de post-levée deux mois après la plantation peut être réalisée. Pour les autres années, une application en pré-levée une semaine après la récolte est envisageable. Le traitement est à renouveler deux mois après, suivant les repousses des adventices.

Pour les autres maladies provoquées par des champignons, aucun produit n'est autorisé depuis quelques années (CA Martinique, 2007b; E-phy, 2014). Pour lutter contre ces maladies, la solution préconisée est l'utilisation de variétés résistantes, la désinfection des outils de coupe et le repos des parcelles (2 mois minimum).

Contre les vers blancs, aucun insecticide n'est autorisé mais la lutte biologique à base de Beauveria tenella 96 est une alternative. Elle n'est toutefois pratiquement pas employée en Guadeloupe. Contre les nématodes, le 1,3-dichloropropène était utilisable (ACTA, 2008) mais son emploi n'est plus autorisé sur canne à sucre (E-phy, 2014). Néanmoins, ce risque est faible en Guadeloupe. La problématique majeure actuellement est le charançon.

#### ***Bilan sur les pressions en phytosanitaires à l'échelle de la Guadeloupe***

Les informations récoltées sur les pratiques phytosanitaires des cultures principales de Guadeloupe permettent d'affecter une pression forte à la banane et une pression moyenne à la canne à sucre. La canne à sucre nécessite des fortes applications d'herbicides uniquement alors que la banane nécessite des applications fortes d'herbicides, de fongicides et d'insecticides. C'est ce besoin important pour tous les usages qui explique le classement en pression forte.

Quantité de matière active utilisée en 1998 en kg/ha/an	
Famille de produits phytosanitaire	
Banane	
Insecticides	8.8
Herbicides	3.7
Fongicides	3.1 (+15 d'huile)
Canne à sucre	
Herbicides	2.16

D'après (Balland M. et al., 1988)

Tableau 21 : Comparaison de la pression en produits phytosanitaires entre la banane et la canne

Aucune étude précise n'a été réalisée sur le maraîchage. Néanmoins, il est à noter que les études réalisées en métropole (e.a. Surdyk et al., 2011) et une étude réalisée en Guadeloupe (Bonan et Prime, 2001), permettent d'affecter aussi une pression forte au maraîchage.

Type de cultures	cotation
- Bananes destinées à l'exportation, bananes « créole »	3
- Agrumes, ananas, autres légumes de plein champ,	3
- Mangue, goyave, melon, autres vergers, horticulture ornementale de plein champ, canne à sucre	2
- Café, igname, tubercules tropicaux, vanille, autres cultures	1
- Jachère, savane pâturée, culture sous tonnelle	1
- Bois et végétation arbustive, friche (non cultivées et non pâturées)	1

3 : pression forte, 2 : pression moyenne, 1 : pression faible

Tableau 22 : Hiérarchisation et cotation de la pression « produits phytosanitaires » en fonction du type de culture

#### Représentation de la pression azotée sur les eaux souterraines par unité fonctionnelle

Les pondérations en fonction du type de culture proposées dans le Tableau 20 sont appliquées sur les parcelles du RPG. Chaque parcelle étant associée à une unité fonctionnelle, un calcul des superficies pour chaque classe de pression azotée (Forte = 3, Moyenne = 2 et Faible = 1) a ensuite été mené pour chaque unité fonctionnelle.

Chaque unité fonctionnelle a ensuite fait l'objet d'un calcul de pression pondérée sur la base de la formule suivante :

**[Surf(Pression Faible) + 5xSurf(Pression Moyenne) + 10xSurf(Pression Forte)] / Surface de l'unité Fonctionnelle**

Les facteurs 5 et 10 correspondent à des modes de pondération.

Le résultat de ce calcul est présenté dans l'illustration 15.

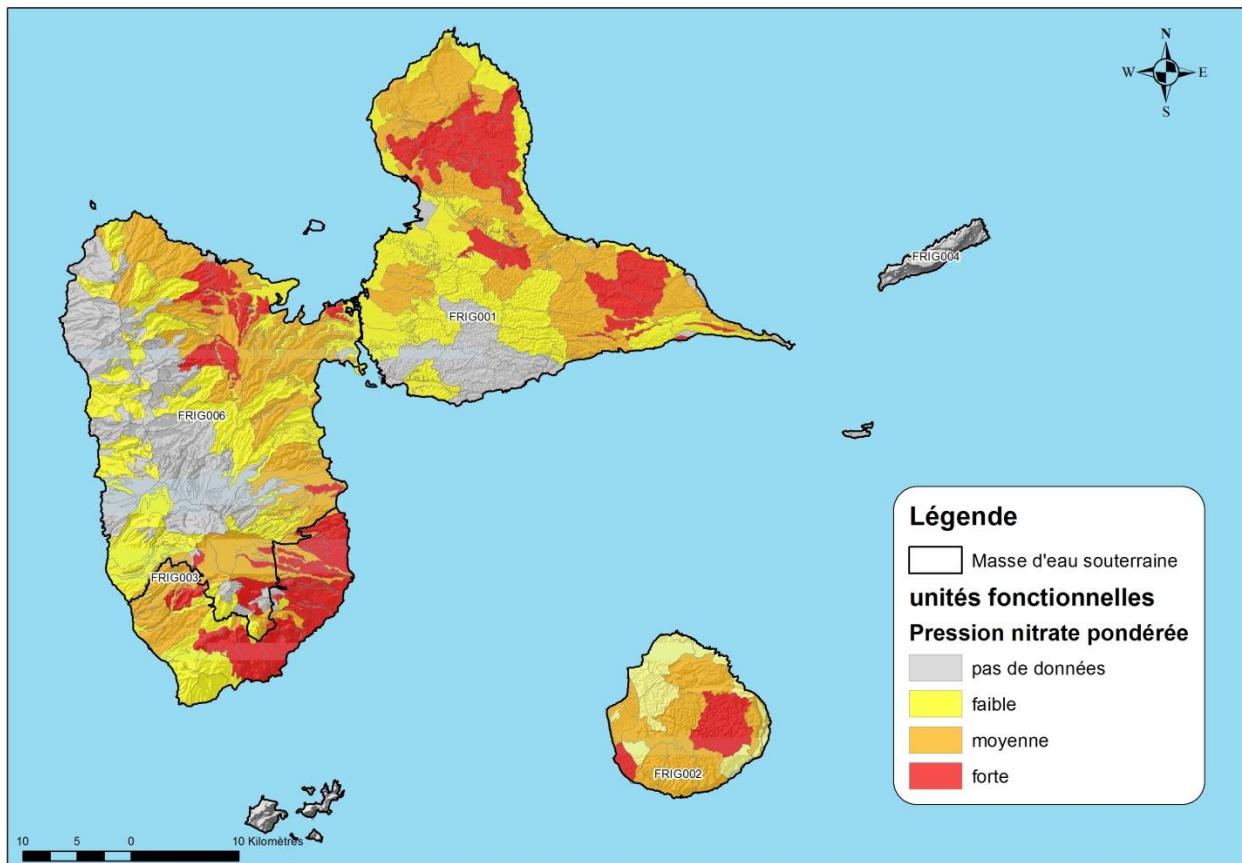


Illustration 15 : Carte de la pression azotée par unité fonctionnelle en Guadeloupe

Afin de qualifier la pression à l'échelle d'une masse d'eau donnée, un indicateur surfacique ( $S_{\text{surfacique}}$ ) de la pression azotée est également calculé. Celui-ci se base sur :

- la surface totale des unités fonctionnelles présentant une pression forte sur l'ensemble d'une masse d'eau ;
- la superficie totale de la masse d'eau.

Ainsi : 
$$S_{\text{surfacique}} = \frac{S_{\text{unités}}}{S_{\text{totale}}}$$

Les indicateurs obtenus pour chaque MESO sont recensés dans le Tableau 23.

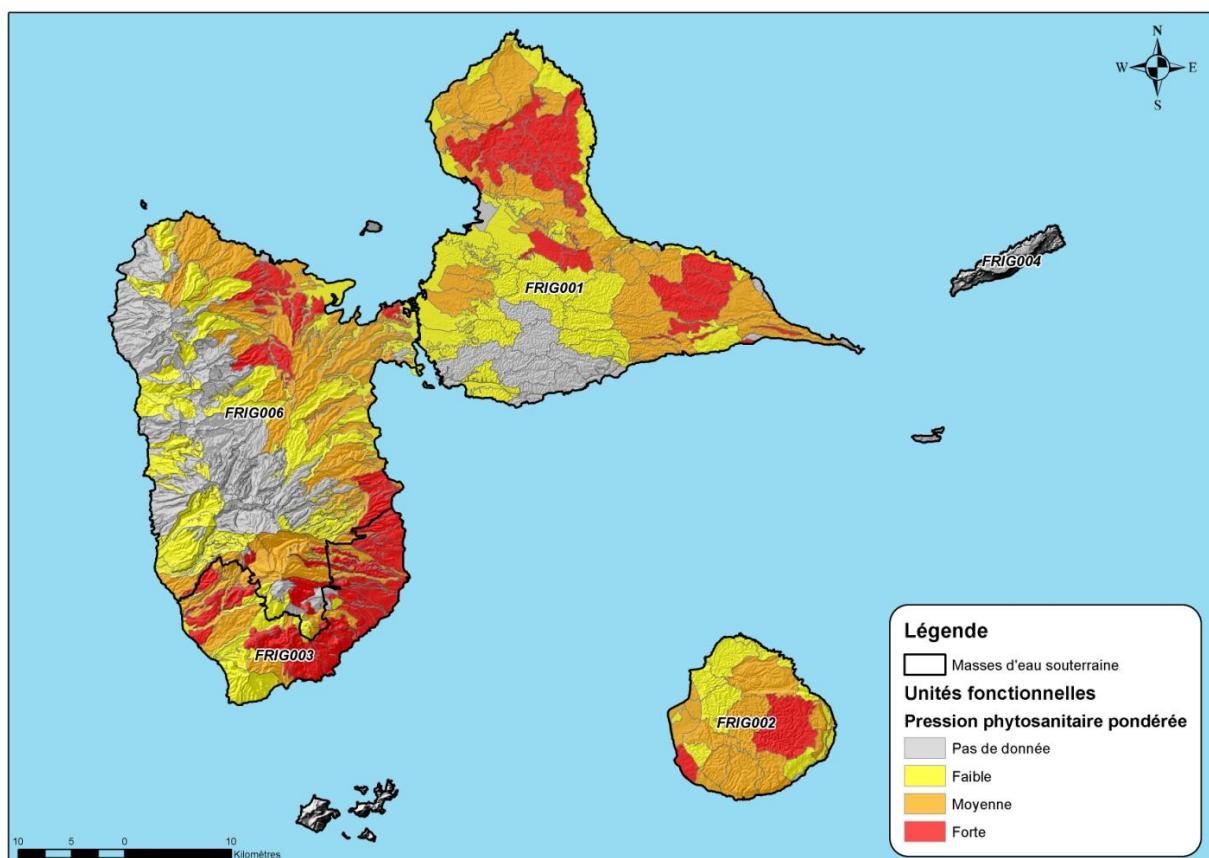
Masses d'eau	$\sum S_{\text{unités}} (m^2)$	$S_{\text{totale}} (m^2)$	$S_{\text{surfacique}} (%)$
FRIG001	119 796 269,01	5 967 734 06,07	20,07
FRIG002	31 999 898,97	159 952 556,26	20,01
FRIG003	83 282 168,78	168 774 152,53	49,35
FRIG006	43 815 144,20	677 498 876,79	6,47

Tableau 23: Indices surfaciques pour la pression azotée calculés pour chaque masse d'eau souterraine

Au-delà de 20%, on considère que la pression rapportée à une masse d'eau donnée est forte. Ce pourcentage est en adéquation avec le % maximum de surface dégradée d'une masse d'eau au-delà duquel il est opéré à un déclassement de l'état chimique de celle-ci au titre de la DCE. Il apparaît que les masses d'eau de Grande-Terre (FRIG001) et de Marie-Galante (FRIG002) présentent un indicateur très légèrement supérieur à 20%. La pression azotée est donc « forte ». D'autre part, pour la MESO Sud Basse-Terre (FRIG003), l'indice calculé atteint presque les 50%, ce qui signifie que la pression « nitrates » est très importante. Seule la masse d'eau du Nord Basse-Terre (FRIG006) possède un indice surfacique acceptable à l'échelle de l'ensemble de la masse d'eau et par conséquent, la pression peut être considérée comme faible, bien qu'existante.

#### ***Représentation de la pression phytosanitaire par unité fonctionnelle***

Pour les produits phytosanitaires, la même méthodologie a été appliquée sur les parcelles agricoles du RPG et sur la base des cotations proposées dans le Tableau 22. Le résultat de ce calcul est présenté dans l'Illustration 16.



*Illustration 16 : Carte de la pression phytosanitaire par unité fonctionnelle en Guadeloupe*

L'approche par unités fonctionnelles permet de voir que, globalement, les cartes correspondent aux évaluations d'Asconit pour les différentes masses d'eau souterraine. La masse d'eau du sud Basse-Terre (FRIG003) présente donc de plus fortes pressions que les masses d'eau de Grande-Terre (FRIG001) et Marie-Galante (FRIG002). La pression sur la masse d'eau du nord Basse-Terre (FRIG006) sur son ensemble est faible. On constate également que l'approche par secteur permet de mieux rendre compte de la pression, alors qu'une donnée pour toute une masse d'eau, telle que le prestataire la présente, n'est finalement pas très représentative.

Comme pour la pression azotée, un indicateur surfacique concernant, cette fois, la pression phytosanitaire a été calculé pour chaque masse d'eau à partir. Il est également basé sur :

- la surface totale des unités fonctionnelles présentant une pression forte sur l'ensemble d'une masse d'eau
- la superficie totale de la masse d'eau.

Ainsi :

$$S_{\text{surfacique}} = \frac{S_{\text{unités}}}{S_{\text{totale}}}$$

Les indices surfaciques obtenus pour chaque masse d'eau sont regroupés dans le Tableau 24.

Masse d'eau	$\sum S_{\text{unités}} (\text{m}^2)$	$S_{\text{totale}} (\text{m}^2)$	$S_{\text{surfacique}} (\%)$
FRIG001	119 796 269,01	596 773 406,07	20,07
FRIG002	31 999 898,97	159 952 556,26	20,01
FRIG003	93 140 884,07	168 774 152,53	55,19
FRIG006	51 354 414,92	677 498 876,79	7,58

Tableau 24: Indices surfaciques pour la pression phytosanitaire calculés pour chaque masse d'eau souterraine

Ces indices permettent de quantifier et de confirmer les premières observations effectuées à l'aide de l'illustration 16. En effet, ceux obtenus pour les masses d'eau FRIG001 et FRIG002 sont de l'ordre de 20%, celui calculé pour la FRIG003 dépasse les 50%, tandis que celui pour la MESO FRIG006 est de 7,58%. La pression phytosanitaire globale exercée sur les masses d'eau de Grande-Terre et de Marie-Galante est forte par conséquent et celle concernant la masse d'eau du Sud Basse-Terre, peut être qualifiée de très forte.

## 2) Méthodologie utilisée afin d'étudier la relation Pression-Impact

### ❖ La vulnérabilité intrinsèque des aquifères

La vulnérabilité intrinsèque traduit **la capacité du premier réservoir souterrain à recevoir les eaux issues de la surface**. Le transfert de ces eaux issues de la surface des sols s'effectue d'abord à travers la zone non saturée (ZNS) avant d'atteindre la zone saturée. Les calculs de la vulnérabilité en Guadeloupe présentés ci-dessous correspondent à des vulnérabilités intrinsèques.

#### *Le calcul de l'IDPR sur Basse-Terre*

Pour Basse-Terre, le calcul de l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR), élaboré en 2009, a été retenu comme carte de vulnérabilité (Dumon *et al.*, 2009). En effet, suite aux études réalisées en Martinique et en Guyane, et au vu du contexte géologique de cette partie de la Guadeloupe ainsi que du manque de données concernant la ZNS (Zone non saturée), l'approche IDPR semble la mieux adaptée pour qualifier la vulnérabilité des eaux souterraines.

L'IDPR permet de rendre compte indirectement de la capacité intrinsèque du sol à laisser infiltrer ou ruisseler les eaux de surface, sur la base d'un nombre limité de données. Il se

calcule en comparant le réseau hydrographique naturel (auquel ont été intégrées les zones humide) au réseau de talwegs calculés.

L'IDPR résulte du rapport entre la distance au plus proche cours d'eau réel et la distance au plus proche talweg calculé. Il varie selon une échelle comprise entre 0 et n et est arbitrairement ramené à une gamme de 0 à 2000. Les deux distances calculées sont pondérées par la pente.

L'IDPR est inférieur à 1000 quand le réseau théorique n'est pas repris par une rivière réelle. Ce rapport indique alors une infiltration majoritaire des eaux. Inversement, quand le réseau réel est plus dense que le réseau calculé, on est en zone de ruissellement majoritaire, l'IDPR tend vers 2000.

IDPR < 1000	Infiltration majoritaire par rapport au ruissellement superficiel. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint un axe de drainage défini par l'analyse des talwegs sans que celui-ci ne se concrétise par l'apparition d'un axe hydrologique naturel.
IDPR = 1000	Infiltration et ruissellement superficiel de même importance. Il y a conformité entre la disponibilité des axes de drainage liés au talweg et les écoulements en place.
IDPR > 1000	Ruissellement superficiel majoritaire par rapport à l'infiltration vers le milieu souterrain. L'eau ruisselant sur les terrains naturels rejoint très rapidement un axe hydrologique naturel sans que la présence de celui-ci soit directement justifiée par un talweg.
IDPR voisin ou égal à 2000	Stagnation transitoire ou permanente des eaux, menant à deux interprétations différentes. Si la nappe est proche de la surface des terrains naturels, (cours d'eau et zones humides), le terrain est saturé et l'eau ne s'infiltra pas. Si la nappe est profonde, le caractère ruisselant peut démontrer une imperméabilité des terrains naturels.

Tableau 25 : Signification des valeurs issues de la grille de calcul IDPR en fonction des contextes rencontrés

L'illustration 17 présente le résultat du calcul de l'indice IDPR sur Basse-Terre. Le maillage est composé de cellules de 50 m de côté. Les zones rouges et vertes indiquent respectivement les zones infiltrantes et ruisselantes.

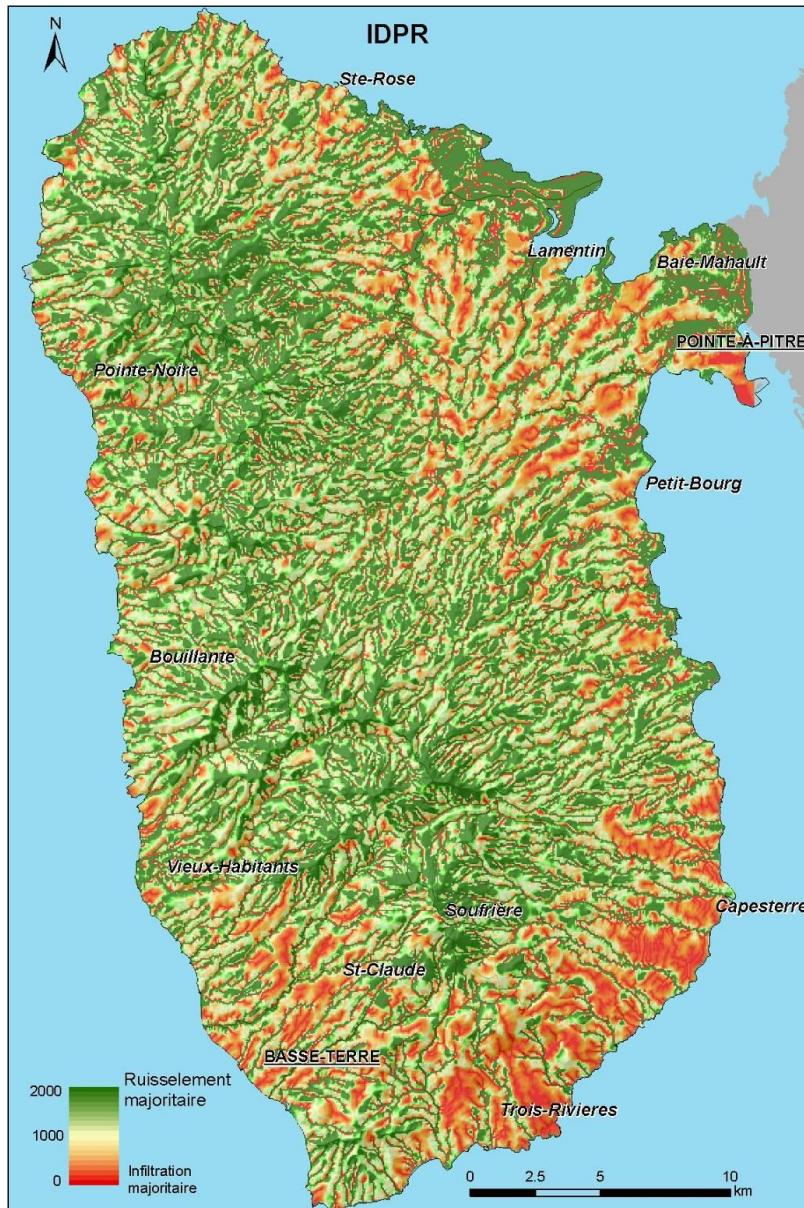


Illustration 17 : Résultat du calcul de l'IDPR sur la totalité de la région. Les zones rouges et vertes indiquent respectivement les zones infiltrantes et ruisselantes (source : Dumon et al., 2009)

#### La cartographie de la vulnérabilité de Grande-Terre et Marie-Galante

Conformément à la méthodologie de cartographie à index avec pondération de critères, les cartes de vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de Grande-Terre et de Marie-Galante sont obtenues par combinaison des cartes unicritères affectées de facteurs de pondération reflétant l'importance relative de chaque critère vis-à-vis de la vulnérabilité.

L'attribution des poids de chaque critère tient compte :

- d'une hiérarchisation théorique des critères : le plus grand rôle est attribué à l'épaisseur de la ZNS ;
- de l'abondance et de la précision des données de départ.

La pondération des critères utilisée varie de 1 à 4 ; elle a été définie en concertation entre le BRGM et la DEAL en 2002 lors de la phase 2 de la réalisation de cartes de vulnérabilité des

nappes souterraines de Grande-Terre et de Marie-Galante (BRGM/RP-52677-FR) ; elle est présentée dans le Tableau 26.

Critères	Rôle vis-à-vis de la vulnérabilité des aquifères	Données de base	Facteur de pondération
Epaisseur ZNS	majeur	Abondantes, représentatives et mesurées	5
Couverture pédologique	majeur	Abondantes, représentatives et calculées	3
Nature et perméabilité de la ZNS	majeur	très peu abondantes et mal réparties	2
Répartition de l'infiltration (IDPR)	majeur	Imprécises (réseau hydrographique)	2
Type de nappe	majeur	imprécises (limite entre zone captive et zone libre)	2
Fracturation	minimisé par les potentialités locales de colmatage	imprécises (discordance entre les différentes sources de données)	1
Points d'infiltration préférentielle	minimisé par les potentialités locales de colmatage	imprécises (ouverture ou colmatage mal définis)	1

Tableau 26 : Hiérarchisation et pondération des critères de vulnérabilité spécifique

La combinaison pondérée des critères est réalisée au moyen de logiciels de traitement multicritères. Un indice de vulnérabilité final est calculé par addition pondérée des index de vulnérabilité unicritère définis précédemment pour chaque maille de calcul. Une carte de répartition des indices de vulnérabilité est alors établie qui correspond à la carte de vulnérabilité intrinsèque.

Cette approche a été menée en plusieurs étapes (cf. Illustration 18) et l'ensemble de la méthodologie est décrite dans les rapports BRGM établis entre 2002 et 2006 (Gourdon et al., 2004 ; Bezelques S. et al. 2002, 2004 et 2006).

Remarque : A ce jour, l'île de la Désirade ne dispose pas de cartes de vulnérabilité.

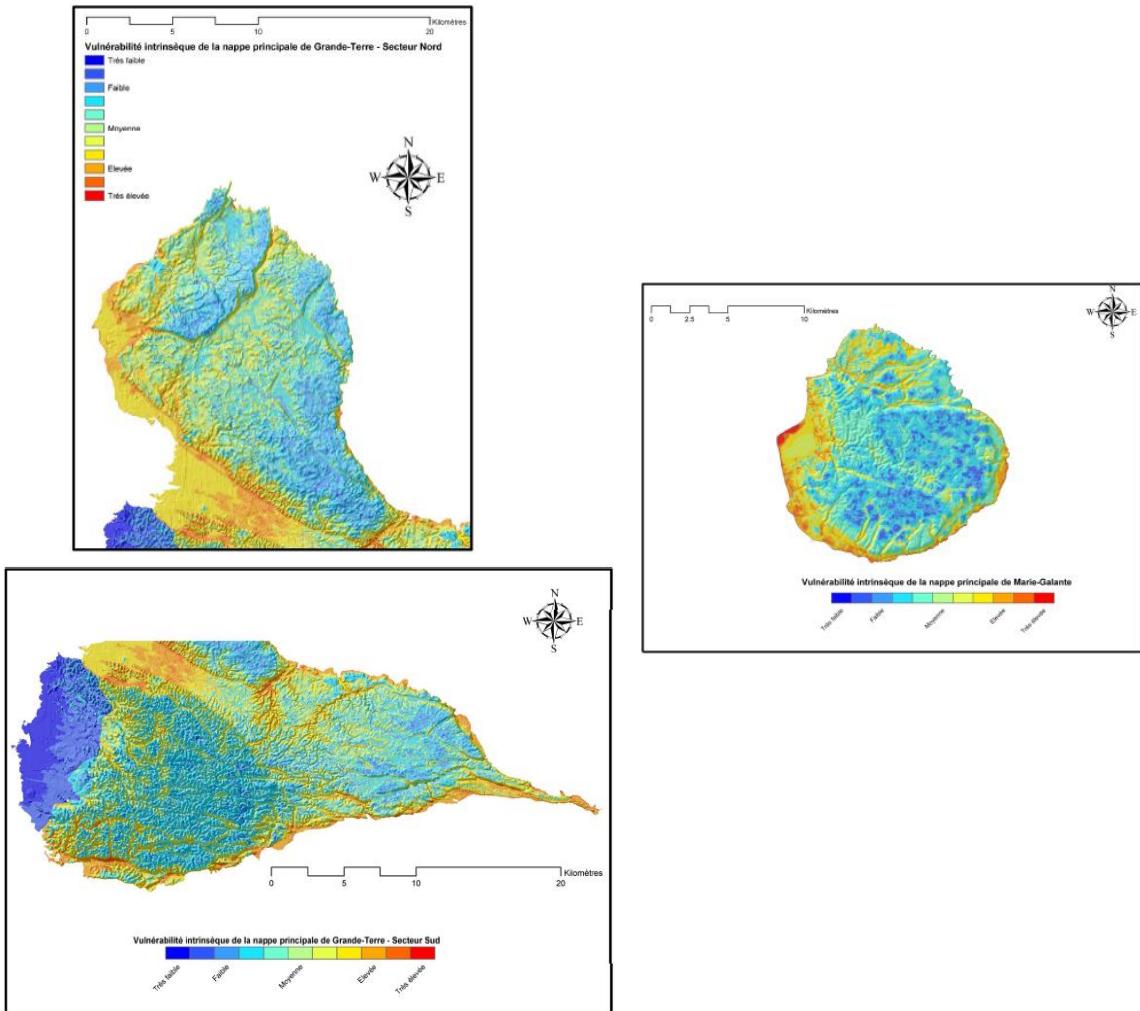


Illustration 18 : Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines sur Grande-Terre et Marie-Galante

#### Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque par unités fonctionnelles

En raison des données « sources » utilisées pour le calcul de ces grilles qui ont une échelle de représentativité propre, ces grilles de vulnérabilité ne doivent pas être utilisées à une échelle d'observation plus grande que 1/25 000.

C'est pourquoi, une agrégation des valeurs issues de ces grilles est généralement réalisée par entités homogènes d'un point de vue du contexte géo-morpho-hydrogéologique. Dans le cadre de la présente étude, ces entités sont les unités fonctionnelles identiques à celles précédemment décrites (Illustration 14). L'idée est de faciliter l'analyse et la comparaison des informations sur la vulnérabilité intrinsèque et les différents types de pressions recensés sur l'île. Les valeurs associées à chaque unité fonctionnelle sont les valeurs médianes.

Il a été arbitrairement décidé, au vue des objectifs et du nombre et qualité des données disponibles pour l'étude de regrouper ces valeurs médianes en trois classes de vulnérabilité : « Faible », « Moyenne » et « Forte ». De même, l'approche IDPR utilisée pour Basse-Terre a été assimilée à une approche vulnérabilité. Ceci permet de proposer une cartographie homogène et d'utiliser le terme « vulnérabilité » pour l'ensemble du territoire étudié.

La carte de la vulnérabilité intrinsèque synthétique obtenue pour Grande-Terre, Basse-Terre et Marie-Galante est présentée dans l'Illustration 19.

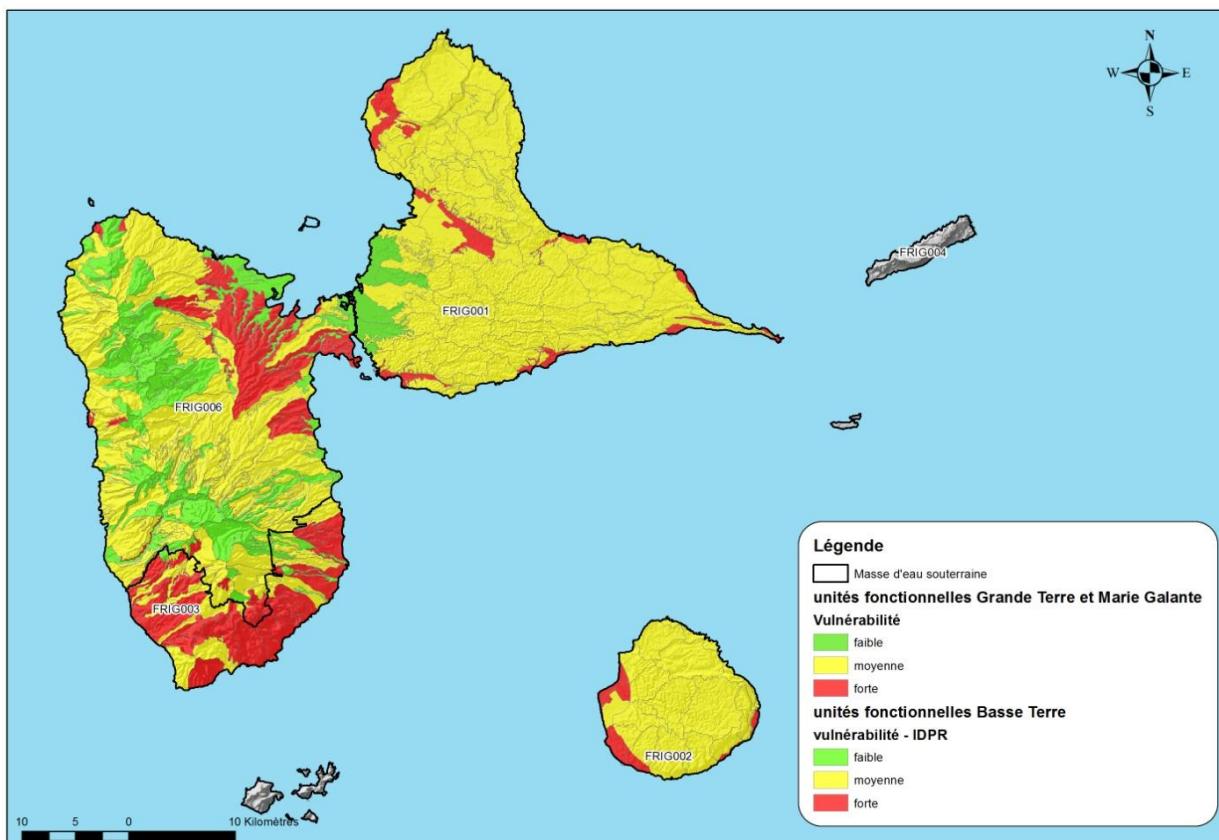


Illustration 19 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque par unités fonctionnelles sur Basse-Terre, Grande-Terre et Marie-Galante

Au vue de cette carte, la masse d'eau souterraine FRIG003 (Ensemble volcanique du Sud Basse-Terre) semble particulièrement vulnérable avec plus de 80% de sa surface classée en vulnérabilité « Forte ».

Les masses d'eau souterraine FRIG001 (Ensemble calcaire de Grande-Terre) et FRIG002 (Ensemble calcaire de Marie-Galante) sont quant à elles classées très majoritairement en vulnérabilité « Moyenne ». Restent néanmoins quelques secteurs plus vulnérables entre Petit-Canal et Morne à l'Eau (FRIG001), entre Port-Louis et Anse-Bertrand (FRIG001) et entre Saint-Louis et Grand-Bourg sur la masse d'eau souterraine de Marie-Galante.

La masse d'eau souterraine FRIG006 (Ensemble volcanique du Nord Basse-Terre) est quant à elle plus contrastée, avec notamment des secteurs classés en vulnérabilité « Forte » (Nord de Basse-Terre et Côte au Vent).

### 3) Analyse des liens Pression-Impact pour les produits azotés

L'analyse des liens pression / impact pour les nitrates et plus généralement les produits azotés comporte trois étapes essentielles : i) l'estimation des sources et importance des pressions nitratées sur les eaux souterraines (rapportées aux unités fonctionnelles), ii) les facteurs

influencant le transfert des nitrates des sols vers les eaux souterraines (dans cette étude la vulnérabilité) et iii) les facteurs d'atténuations.

### ❖ La dénitrification

Le facteur principal d'atténuation pour les apports azotés est la dénitrification. La dénitrification est une composante essentielle du bilan azoté dans le milieu hydrique mais sa quantification est difficile à estimer. La dénitrification au niveau des sols se fait principalement dans la zone racinaire dans des conditions de faibles teneurs en oxygène, fortes teneurs en eau et en matières organiques. Les paramètres collectés de manière régulière et qui permettent de suspecter une dénitrification totale ou partielle des eaux sont multiples :

- **présence des formes réductrices de l'azote**, principalement  $\text{NH}_4$ . En effet les contaminations en produits azotés se font principalement sous forme  $\text{NH}_4$ . Une fois dans le milieu, l'ammonium se transforme rapidement en nitrates sous l'effet de l'oxydation. En milieu réducteur (pauvre en oxygène) la forme azotée que l'on retrouve dans les eaux est essentiellement l'ammonium. Le nitrite est une autre forme d'azote en milieu réducteur, entre le  $\text{NO}_3$  et le  $\text{NH}_4$ . Il est très peu stable sous cette forme et on le retrouve moins souvent.  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_2$  se retrouvent en concentrations non négligeables à proximité des sources de contamination, la nitrification n'ayant pas encore ou peu eu lieu. La matière organique naturellement présente dans les sols peut permettre un léger enrichissement naturel des eaux en nitrates. On considère toutefois qu'au-delà de 10 mg/L l'origine du  $\text{NO}_3$  est anthropique. En milieu réducteur on peut donc également observer des concentrations en ammonium d'origine naturelle ;
- **état du milieu** : les paramètres oxygène dissous et potentiel d'oxydo-réduction permettent de définir les conditions Redox au niveau du point d'eau. Toutefois il est possible que l'aquifère présente localement des conditions réductrices permettant une dénitrification mais, au niveau du point d'eau, les conditions sont semi ou oxydantes. De plus ces mesures in situ sont délicates à effectuer du fait d'une oxydation possible lors des manipulations. La dénitrification peut avoir lieu au niveau des sols et l'état d'oxydo-réduction des eaux souterraines ne représente en rien les conditions au niveau des sols.
- **Autres éléments dissous sensibles aux conditions Redox** : la présence de fer et de manganèse sous forme d'éléments dissous dans les eaux est un indicateur de conditions locales réductrices. En effet en milieu oxydant ces deux éléments se trouvent sous forme  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Mn}^{3+}$  et sont peu solubles.

Ainsi, une analyse des paramètres mesurés in situ, potentiel redox et  $\text{O}_2$ , des concentrations en fer, manganèse,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  et  $\text{NO}_3$  et de l'évolution des concentrations de ces éléments avec le temps a permis de proposer, pour l'ensemble des points « qualitomètres » du bassin, un indice de dénitrification (Illustration 20). Aucune publication permettant l'estimation du taux de dénitrification en Guadeloupe n'ayant été trouvé il n'est pas possible d'estimer quantitativement cette perte. Un indice de dénitrification ne signifie pas qu'il y a systématiquement dénitrification de produits azotés d'origine anthropique. Cela signifie que les conditions sont réunies pour qu'il y ait, théoriquement, une dénitrification. S'il existe une pression nitrate, la dénitrification peut être complète, les teneurs en  $\text{NO}_3$  sont alors inférieures à la limite de quantification (le plus souvent <1 mg/L), temporelle (variable dans le temps) ou partielle. Une dénitrification peut avoir lieu pour des nitrates d'origine naturelle ou anthropique. Cette information reste qualitative et ne pourra être validée que par des études plus poussées comme l'analyse isotopique du  $\delta^{15}\text{N}$  des nitrates dissous.

Les nitrates sont détectés régulièrement et parfois à des concentrations élevées. Néanmoins, la valeur médiane n'est jamais élevée au regard de la norme réglementaire (50 mg/L) du fait, en partie sans doute de la dénitrification. Dans cette étude, la médiane a été préférée à la moyenne à cause du nombre réduit de données. Il est à noter que certaines zones n'ont pas pu être traitées à cause du manque de données. C'est notamment le cas de la masse d'eau FRIG004 pour laquelle le parcellaire n'était pas disponible, ainsi il n'a pas été possible de réaliser la carte des pressions azotées.

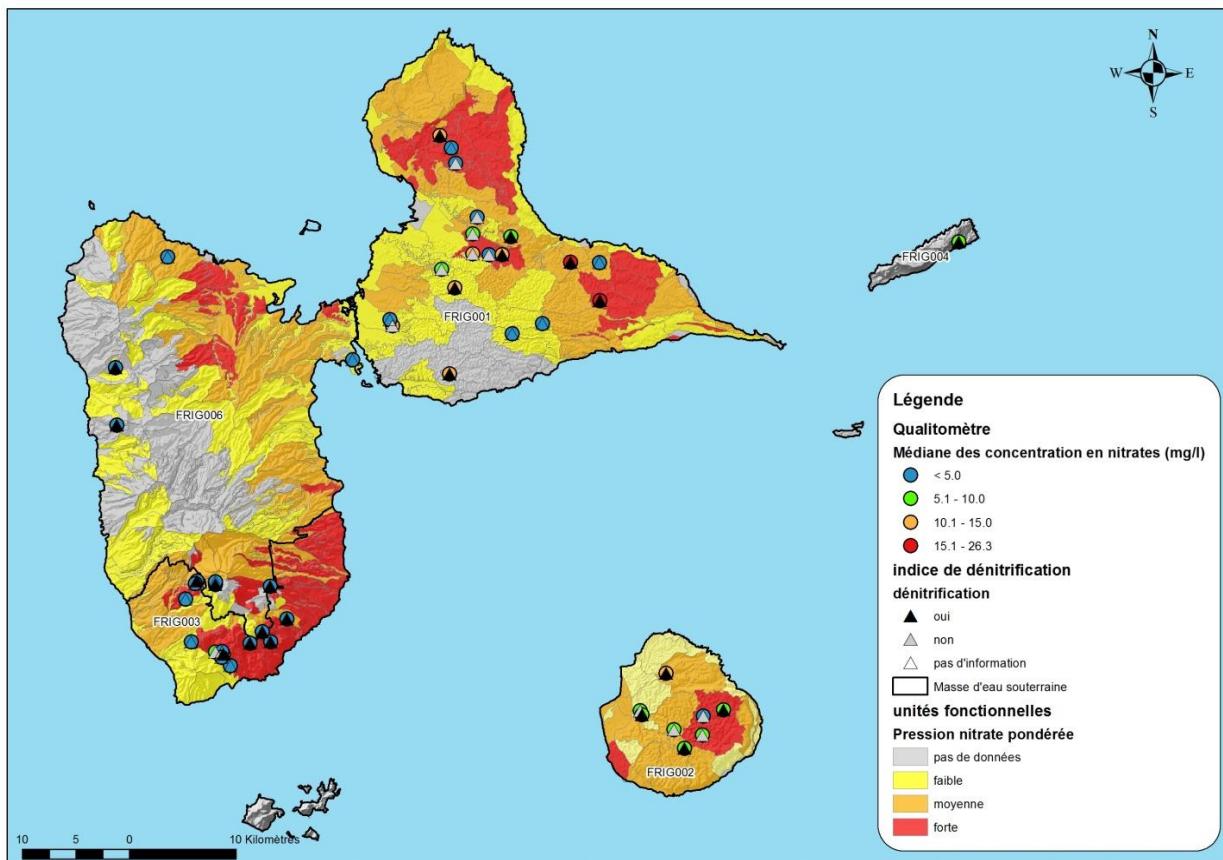


Illustration 20 : Localisation des qualitomètres utilisés dans l'analyse P/I nitrate, médiane des concentrations en nitrates et indice de dénitrification

#### ❖ Bilan de l'analyse des liens pressions-impact pour les produits azotés

Trois zones au nord et à l'est et centre de la masse d'eau FRIG001 sont classées en pression forte. Cette masse d'eau est fortement occupée par la culture de la canne à sucre. Sur ce secteur est, deux points d'eau montrent des teneurs en nitrates régulièrement supérieures à 20mg/L, 1141ZZ0019/P (captage AEP Duchassaing) et 1150ZZ0034/FORAGE (Celcourt). Au forage 1141ZZ0019/P, il est constaté une variation des concentrations en nitrates du fait de variations des conditions Redox avec le temps. Une tendance d'évolution des concentrations à la hausse a également été calculée. Cette pollution semblerait plus ou moins localisée pour le moment mais au vu de l'indice surfacique de pression azotée non négligeable (20%), les concentrations en nitrate doivent faire l'objet d'une surveillance régulière.

Au nord de cette masse d'eau les concentrations en nitrates sont faibles ou les conditions Redox permettent sans doute une dénitrification partielle des nitrates.

Au centre de la masse d'eau, sur la zone de pression significative en nitrate, on note la présence de plusieurs points d'eau avec des concentrations en nitrates variables. Sur ce secteur les conditions réductrices ou semi-réductrices ne se retrouvent pas systématiquement, ce qui explique que l'on relève des concentrations médianes en nitrates supérieures à 5 mg/L de manière presque systématique. On admet que des concentrations en nitrates jusqu'à 10 mg/L (valeur démontrée en métropole, non confirmée pour la Guadeloupe) peuvent être mesurées dans les eaux souterraines sans qu'il y ait d'apports anthropiques. Au centre de ce secteur, la vulnérabilité intrinsèque est également forte. Ainsi, l'absence de conditions réductrices, les fortes pressions et la vulnérabilité élevée font de ce secteur une zone où la surveillance doit d'être renforcée.

La pression est également forte sur un secteur de la masse d'eau FRIG002 représentant environ 20% de la surface de la MESO globale. La vulnérabilité intrinsèque est moyenne. Les divers points d'eau localisés sur ce secteur ont des concentrations médianes en nitrates ne dépassant pas les 10 mg/L. Il n'existe pas de secteur particulièrement sensible aux pressions/impact des polluants azotés sur Marie-Galante.

Les cartes de pressions significatives (banane) et de vulnérabilité font ressortir un secteur de la masse d'eau FRIG003, Sud Basse-Terre, particulièrement « sensible » aux apports azotés avec une surface concernée proche de 50% de la surface totale de la masse d'eau. Toutefois, des concentrations moins élevées sont détectées dans l'ensemble de cette masse d'eau. Un seul point d'eau a des concentrations en nitrates comprises en 5 et 10 mg/L. Ce point est le seul également pour lequel on ne relève pas d'indices de dénitrification. Pour les autres points une dénitrification est possible, les conditions étant réunies pour cela.

Des conditions favorables permettant une dénitrification semblent permettre de réduire fortement les impacts sur les eaux souterraines des pratiques agricoles sur ce secteur. Une exploitation intensive des eaux souterraines, des changements de conditions physico-chimiques au niveau des sols, de la zone non saturée et de la zone saturée, des excès de nitrates peuvent, dans des conditions particulières, permettre un changement de ces conditions oxydo-réductrices. Une dégradation de la qualité des eaux serait alors possible. De ce fait il est indispensable de maintenir le suivi de la qualité des eaux sur cette masse d'eau. Le suivi doit intégrer, entre autres, les mesures physico-chimiques *in situ* permettant de surveiller les conditions Redox (O<sub>2</sub> dissous, Eh), les paramètres sensibles aux conditions Redox (Fe, Mn), les différentes formes de l'azote (NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>). Un suivi régulier doit également permettre l'estimation des tendances d'évolution des concentrations en nitrates et autres paramètres indicateurs des conditions du milieu.

Il n'existe qu'un seul point de suivi sur la masse d'eau FRIG004 et on ne dispose ni des cartes de pressions ni de celles de vulnérabilité. Il n'est donc pas possible de statuer.

Pour la masse d'eau FRIG006 la pression est forte sur le secteur nord-est, là où l'aquifère est également fortement ou moyennement vulnérable. Ce secteur est donc potentiellement à risque. On ne dispose toutefois d'aucun point d'eau de suivi de la qualité sur ce secteur. Il est donc important de pouvoir suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines sur ce secteur de la masse d'eau.

Globalement, même si les pressions azotées sont fortes voire très fortes sur les MESO FRIG001, FRIG002 et FRIG006 et plus modérées pour la MESO FRIG006 en terme de surfaces concernées, les impacts restent pour le moment relativement limités de par les concentrations observées.

#### 4) Analyse des liens pression-impact pour les produits phytosanitaires

##### ❖ **Les particularités physico-chimiques des produits phytosanitaires**

Il existe plusieurs phénomènes qui entraînent et qui freinent les produits phytosanitaires lors des écoulements : la convection, la dispersion ou la diffusion. La convection est l'entrainement des éléments en solution par le mouvement de l'eau qui se déplace. Un fluide présent dans le sol est pour partie immobile, la migration des éléments n'étant assurée que par la partie mobile de l'eau. La dispersion est due au gradient de vitesse des molécules entre le centre d'un pore et la bordure de celui-ci. Selon le trajet de pore à pore parcouru, il s'opère une différenciation des trajectoires des molécules. La dispersion est la répartition des molécules lors de l'écoulement.

La problématique des écoulements préférentiels est très importante dans le domaine des produits phytosanitaires car ces écoulements peuvent influencer les vitesses de transfert des matières actives. Les écoulements préférentiels interviennent quand une partie de l'eau transite dans le sol de manière privilégiée dans les pores de diamètre important en évitant une certaine partie de la matrice. Ces pores, communément appelés macropores, peuvent être des tunnels creusés par la faune ou des vides/fissures entre les agrégats du sol. Les macropores peuvent résulter du retrait des sols à teneur en argile importante.

L'adsorption se définit comme l'enrichissement ou la perte d'une ou plusieurs espèces chimiques sur une interface (IUPAC, 1972). Dans le domaine des sciences du sol, l'adsorption désigne le passage d'une phase liquide ou gazeuse vers une phase solide qui entraîne son accumulation à l'interface entre les deux phases (Calvet, 1989). Dans le cas des produits phytosanitaires, l'adsorption a lieu principalement à l'interface liquide/solide, c'est-à-dire, à l'interface entre, soit, la solution du sol et les constituants solides, soit la phase liquide interstitielle et les sédiments (Calvet et al., 2005).

La dissipation des produits phytosanitaires est due à de nombreuses transformations chimiques qui modifient la composition et la structure des molécules. Ces modifications peuvent être limitées à l'élimination d'un groupe fonctionnel, conduire à divers produits de transformation (les métabolites) ou aller jusqu'à complète transformation de la molécule avec la production de molécules minérales : la minéralisation (Calvet et al., 2005). Les transformations chimiques menant à la dissipation des produits phytosanitaires peuvent être abiotiques ou biotique. De manière générale, les réactions biotiques sont plus rapides que la réaction abiotique (Calvet et al., 2005). La modélisation des cinétiques de dissipation dans le sol en plein champ aboutit à des résultats différents selon le type de réactions observées (abiotique ou biotique). La description des cinétiques de dégradation obtenues en laboratoire par un modèle mathématique du 1er ordre donne des valeurs cohérentes. Un consensus est apparu pour l'utilisation de cette description dans les modèles (Beulke et al., 2001; Calvet et al., 2005).

La volatilisation est la transformation des solides ou des liquides en gaz. Les pertes par volatilisation peuvent être importantes pour certains produits très volatiles.

##### ❖ **Bilan de l'analyse des liens pression-impact pour les produits phytosanitaires**

Un effort particulier a été mené afin d'associer les pratiques agricoles aux molécules détectées ayant dépassé au moins une fois les valeurs seuils DCE depuis 2000 (la valeur seuil est divisée par deux afin de prendre en compte les incertitudes analytiques qui peuvent atteindre 50% dans le cas de l'analyse des micropolluants). Cet exercice abouti à la création d'une matrice « activité agricole – produit phytosanitaire » spécifique au contexte de la Guadeloupe (Tableau 27). Cette matrice permet de faire le lien théorique entre la présence d'un produit phytosanitaire dans les

eaux souterraines (l'impact) et l'activité agricole théoriquement émettrice de ce produit (la pression).

L'analyse de cette matrice montre le fort impact théorique de la culture de la canne à sucre sur la présence de produits phytosanitaires dans les eaux souterraines de la Guadeloupe. 14 substances potentiellement utilisées pour sa culture ont en effet été quantifiées au moins une fois dans les eaux souterraines à une concentration supérieure à la moitié de leur valeur seuil. La banane est la deuxième culture la plus impactante en terme d'émission de produits phytosanitaires pouvant atteindre les eaux souterraines de Guadeloupe avec 11 substances quantifiées au moins une fois à une concentration supérieure à la moitié de leur valeur seuil. Il est aussi à noter les substances spécifiques apportées par le maraîchage (dinitrocrésol, métoxuron et propyzamide) ainsi que la métamitrone a priori exclusivement utilisée pour la culture des plantes aromatiques.

Paramètre	Code SANDRE	Activités agricoles					Total
		Canne à sucre	Banane	Maraîchage	Plante arom.	Autre	
Acétochlore	1903	X					1
Aldicarbe sulfoxyde	1806		X				1
AMPA	1907	X	X				2
Anthraquinone	2013					X	1
Atrazine	1107	X					1
Atrazine déisopropyl	1109	X					1
Atrazine déséthyl	1108	X					1
Chlordécone	1866		X				1
Dicamba	1480	X					1
Dieldrine	1173		X				1
Dinitrocrésol	1490			X			1
Diuron	1177	X					1
Glyphosate	1506	X	X				2
HCH bêta	1201		X				1
HCH gamma	1203		X				1
Hexazinone	1673	X					1
Métamitrone	1215				X		1
Métolachlore	1221	X					1
Métoxuron	1222			X			1
Métribuzine	1225	X					1
Monuron	1228	X					1
Propyzamide	1414			X			1
Simazine	1263	X	X				2
Terbutylazine désethyl	2045	X	X				2
Thiabendazole	1713		X				1
Tridémorphe	1811		X				1

Tableau 27 : Matrice « activité agricole – produit phytosanitaire » spécifique au contexte de la Guadeloupe.

A partir de cette matrice, les origines les plus probables des produits phytosanitaires quantifiés dans les eaux souterraines en chacun des points de prélèvement disponibles en Guadeloupe ont été recherchées. Le Tableau 28 a ainsi été créé associant, pour chacun des qualitomètres :

- les molécules ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE divisée par 2 (facteur de sécurité) depuis 2000 ;
- les molécules ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE depuis 2000 ;
- avec les pratiques agricoles étant très probablement à l'origine de la majorité des dépassements de valeur seuil DCE vis-à-vis des produits phytosanitaires ;
- ainsi qu'avec les pratiques agricoles pouvant être à l'origine de certains des dépassements de valeur seuil DCE vis-à-vis des produits phytosanitaires ;

MESO	Qualitomètre	Molécule ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE divisée par 2	Molécule ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE	Origine principale de la pollution	Autre origine possible de la pollution
FRIG001	1135ZZ0002/P (Pelletant)				
	1135ZZ0069/S (Vermont)	Atrazine déséthyl; Atrazine déisopropyl; Hexazinone		Canne à sucre	
	1140ZZ0001/CH1 (Chazeau)	Dinitrocrésol		Maraîchage	
	1140ZZ0008/F (Perrin)				
	1140ZZ0011/P (Jabrun)				
	1140ZZ0044/S (Gensolin)				
	1140ZZ0045/S (Picard)				
	1140ZZ0051/F (Lasser)				
	1141ZZ0015/F (Usine Blanchet n°2)		AMPA	Canne à sucre; Bananes	
	1141ZZ0016/P (Blanchard)	Thiabendazole		Bananes	
	1141ZZ0019/P (Duchassaing)	Thiabendazole; Aldicarbe sulfoxyde	Atrazine déséthyl; Glyphosate; AMPA; Anthraquinone	Canne à sucre; Bananes	Autres
	1147ZZ1315/RAIF1				
FRIG002	1148ZZ0005/F (Kancel)		Glyphosate; Thiabendazole; Tridémorphe	Bananes	Cannes à sucre
	1150ZZ0034/FORAGE (Celcourt)				
	1160ZZ0010/F				
	1160ZZ0011/F		Diuron; Propyzamide; Glyphosate; Acétochlore; AMPA	Cannes à sucre	Bananes; Maraîchage
	1160ZZ0027/S (Vangout)				
	1160ZZ0030/FORAGE				
	1161ZZ0001/F (Balisier)				
	1161ZZ0002/F (Etang noir)				
FRIG003	1161ZZ0009/FORAGE (Calebassier)		AMPA	Canne à sucre; Bananes	
	1163ZZ0007/F (Rabi)				
	1156ZZ0037/SOURCE		HCH bêta	Bananes	
	1156ZZ0040/SOURCE				
	1157ZZ0017/SOURCE	HCH bêta	Chlordécone	Bananes	
	1158ZZ0125/SOURCE		Dieldrine; HCH bêta; Chlordécone	Bananes	
	1159ZZ0015/SOURCE		Dieldrine; HCH bêta; Chlordécone	Bananes	
	1159ZZ0027/SOURCE	Dieldrine	HCH bêta; Métolachlore; Chlordécone	Bananes	Cannes à sucre

	1159ZZ0028/SOURCE			
	1159ZZ0048/SOURCE		Dieldrine; HCH bêta; Chlordécone	Bananes
	1159ZZ0060/TETE-C			
FRIG004	1143ZZ0032/PUITS			
FRIG006	1144ZZ0005/SOURCE			
	1152ZZ0040/SOURCE			

*Tableau 28 : Origines théoriques des substances phytosanitaires quantifiées en chacun des points de prélèvement en eaux souterraines de la Guadeloupe*

Ces résultats sont reportés sur la carte en Illustration 21.

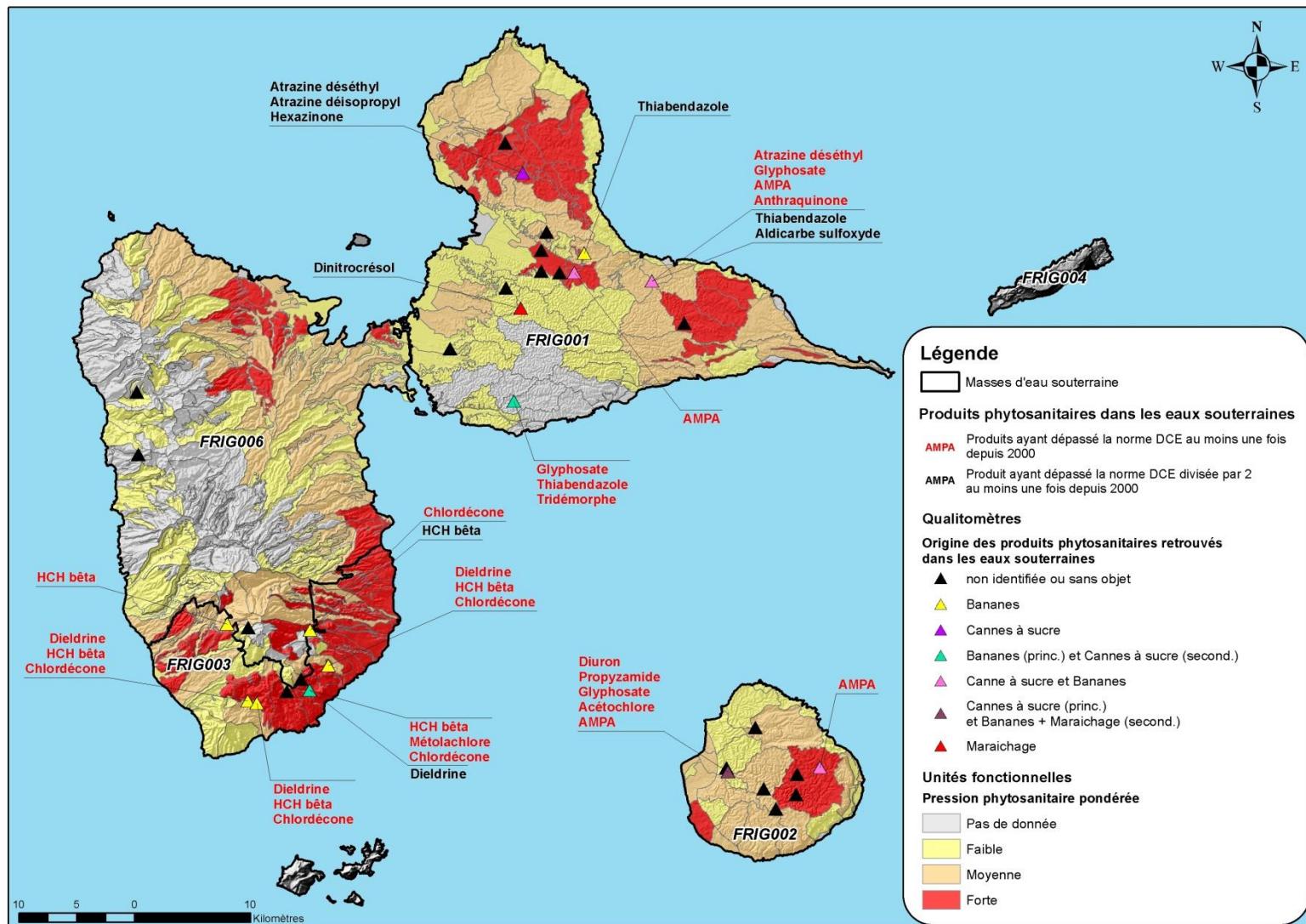


Illustration 21 - Carte pression-impact produits phytosanitaires

Des produits phytosanitaires ont été quantifiés dans les trois masses d'eau étudiées FRIG001, FRIG002 et FRIG003. Les cortèges détectés sont néanmoins très différents. Dans les masses d'eau FRIG001 et FRIG002, il s'agit majoritairement d'herbicides utilisés sur la canne dont certains sont interdits d'usage aujourd'hui. Ces observations sont cohérentes avec la connaissance des pressions agricoles sur ces masses d'eau. Ces secteurs sont en effet majoritairement cultivés en canne à sucre. Ce type de culture est implanté depuis relativement longtemps sur l'île bien que les surfaces diminuent (Didier, 2011). Le fait que certains produits phytosanitaires interdits soient détectés peut s'expliquer par les temps de transferts, parfois importants, des molécules du sol vers les eaux souterraines. Des phénomènes de rétention des molécules par adsorption dans les sols et les zones non saturées des aquifères peuvent aussi expliquer la présence de molécules interdites dans les eaux souterraines.

Des produits phytosanitaires très différents sont détectés dans la masse d'eau FRIG003. Il s'agit de la dieldrine, de l'isomère beta du lindane et de la chlordécone. Ce sont des produits qui ont été utilisés pour la production de banane mais qui sont interdits aujourd'hui. Néanmoins, le lien est cohérent car la masse d'eau FRIG003 regroupe et a regroupé de nombreuses parcelles cultivées en banane. La pression exercée par ces produits est loin d'être négligeable puisqu'elle concerne plus de 55% de la superficie totale de cette masse d'eau.

Il n'a pas été possible de réaliser une étude approfondie du lien pression-impact produits phytosanitaires pour la masse d'eau FRIG004 en raison d'un manque important de données, notamment le parcellaire agricole. Ce manque a empêché la réalisation de la carte de pression.

L'analyse pression-impact pour les produits phytosanitaires montre un paradoxe intéressant. La pression sur les bananeraies a été jugée plus importante (utilisation importante de produits phytosanitaires, toutes familles confondues) que les autres cultures. Néanmoins aucun point a priori soumis à une pression induite par les bananeraies ne contient des produits phytosanitaires récents. Il s'agit en effet de produits interdits en France mais très persistants. A l'inverse, la pression sur la canne à sucre a été jugée moyenne (pression uniquement pour les herbicides). Pourtant de nombreux sites ont montré des contaminations en produits phytosanitaires liés à cette culture. Certains de ces produits sont interdits mais d'autres sont encore utilisés sur la canne à sucre. Certains de ces produits ont aussi été quantifiés dans de nombreuses nappes en métropole. Le fait que de nombreux produits soient détectés dans les eaux souterraines soumises à pression agricole induite par la culture de la canne à sucre et que peu de produits soient détectés sous la banane, bien que cette dernière soit plus à risque, peut peut-être s'expliquer par les différences de pédologie et de géologie entre la masse d'eau FRIG003, de type volcanique, et les masses d'eau FRIG001 et FRIG002, de type récifal (calcaire). La quantification de la part de chaque paramètre (pratique culturale, type de sol, formation géologique) dans l'explication de la présence ou de l'absence des produits phytosanitaires dans les eaux souterraines nécessiterait néanmoins une étude à part entière. Il convient aussi de souligner que les planteurs de banane ont largement modifié leurs pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires suite au scandale lié à la pollution environnementale par la chlordécone.

Certains produits spécifiques aux maraîchages ont été quantifiés dans les eaux souterraines alors que ces cultures occupent de très petites surfaces. Cela peut signifier que les doses de produits phytosanitaires appliquées sur ces surfaces sont importantes et/ou que les pratiques culturales mises en œuvre produisent un impact significatif sur la qualité des eaux souterraines.

**c) Relations pression/impact pour les pollutions ponctuelles d'origines industrielle et urbaine**

**1) liens Pression-Impact pour les pressions ponctuelles d'origine industrielle**

**❖ Valorisation des données chimiques disponibles**

L'analyse du lien entre les pressions ponctuelles industrielles et urbaines et l'impact sur les eaux souterraines a nécessité l'élaboration d'une méthode, basée, dans un premier temps, sur l'observation de l'état des eaux souterraines. Le principe de la méthode repose sur l'identification des pressions théoriques qui peuvent induire les impacts observés et ce à partir de la consultation d'une matrice « activité-polluants » élaborée par le BRGM (Darmendrail et al., 1997). Pour chaque point et chaque masse d'eau de Guadeloupe est ainsi dressé un inventaire des pressions théoriques qui ont pu induire les impacts observés. Ces pressions théoriques devront être confrontées, dans un second temps, à la présence réelle d'activités industrielles ou urbaines au sein des aires d'alimentations des captages contaminés (information disponible dans l'étude Asconit/Pareto et résumé au chapitre 2.1.3).

Concrètement, à partir des analyses qualité extraites d'ADES le 29 janvier 2014 sur l'ensemble de l'île, un inventaire des micropolluants minéraux dépassant les valeurs seuils DCE (ou à défaut les normes de potabilité pour les eaux brutes destinées à la consommation humaine) a été réalisé. Sur les 34 qualitomètres (forages ou sources) présentant des analyses pour ces types d'éléments :

- 14 d'entre eux ont présenté, au moins une fois, une concentration en micropolluant minéral dépassant une valeur seuil DCE, depuis 2000 ;
- 4 autres points ont présenté, au moins une fois, depuis 2000, une concentration en micropolluant minéral approchant une valeur seuil DCE (concentration supérieure à la valeur seuil considérée divisée par 2), mais sans qu'aucun ne la dépasse ;
- 16 autres points n'ont jamais présenté de concentration en micropolluant minéral approchant une valeur seuil DCE divisé par 2.

Les pressions industrielles théoriques associées aux micropolluants minéraux quantifiés à des concentrations significatives en chacun des points de prélèvement de Guadeloupe sont listées dans le Tableau 29. L'Illustration 23 présente pour chaque point de prélèvement les substances ayant approché ou dépassé leur valeur seuil.

Les données chimiques attestant d'une pollution aux micropolluants minéraux d'origine industrielle sont toutefois à prendre avec beaucoup de précaution. En effet, en Guadeloupe, des fonds géochimiques élevés en éléments traces sont avérés sur les masses d'eau du sud Basse-Terre et du nord Basse-Terre. Et ce en raison des formations volcaniques de la Basse-Terre mais également de l'influence hydrothermale. Il est donc difficile de distinguer les pollutions d'origine industrielle de celles étant uniquement ou en partie du fond géochimique pour les éléments aluminium, fer et manganèse.

L'Illustration 22 représente les différentes zones de fond géochimique élevé en Guadeloupe et les niveaux de confiance associés. Cette délimitation est en cours de mise à jour dans le cadre d'un projet sur la détermination des fonds géochimiques des cours d'eau et des eaux souterraines de l'archipel. Ainsi dans le Tableau 29 les éléments surlignés en vert sont principalement du fond géochimique et non une pollution d'origine industrielle.

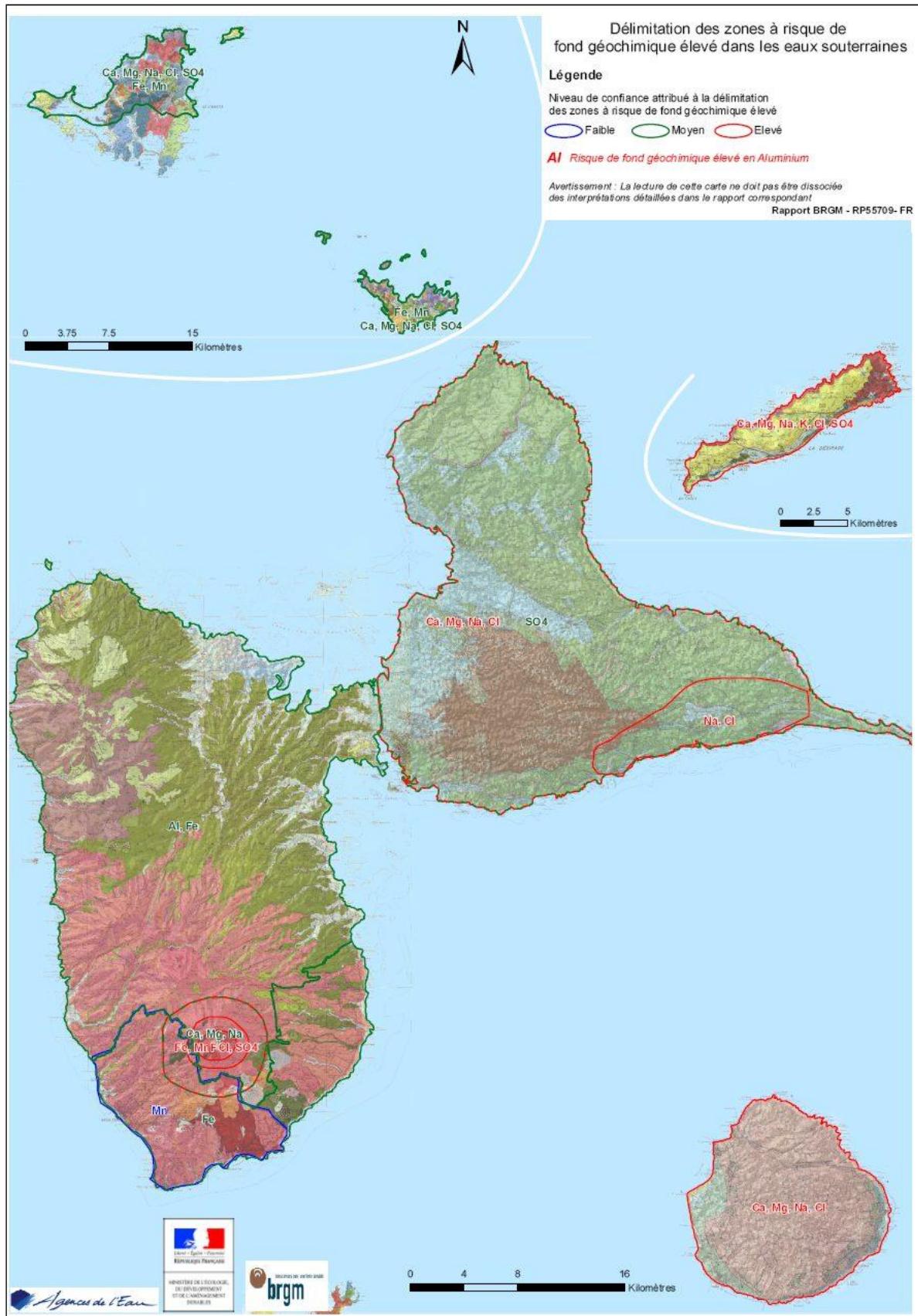


Illustration 22 : Délimitation des zones à risque de fond géochimique élevé de Guadeloupe (Brenot, 2008)

MESO	Points d'eau	Micropolluant minéral ayant dépassé au moins un fois la valeur seuil DCE divisée par 2	Micropolluant minéral ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE	Origine principale de la pollution	Autre origine possible de la pollution
FRIG001	1135ZZ0069/S (Vermont)	Sélénium		Industrie du caoutchouc; Métallurgie; Traitement des métaux ; mécanique générale	Industrie textile; Ennoblement textile; Raffinage de pétrole; Industrie chimique de base; Fabrication de peintures et vernis; Industrie pharmaceutique; Fabrication d'autres produits chimiques; Transformation des matières plastiques; Fabrication de verre et d'articles en verre; Fabrication de machines et appareils électriques; Fabrication de matériels optique et photographique
	1140ZZ0001/CH1 (Chazeau)				
	1140ZZ0008/F (Perrin)				
	1140ZZ0011/P (Jabrun)				
	1140ZZ0045/S (Picard)				
	1140ZZ0051/F (Lasser)				
	1141ZZ0015/F				
	1140ZZ0045/S (Picard)				
	1141ZZ0016/P (Blanchard)		Al + Hg + Pb	Industrie du papier et du carton; Fabrication de peintures et vernis; Fabrication d'autres produits chimiques; Industrie du caoutchouc; Fonderie; Fabrication de machines et appareils électriques	Culture; Extraction de minerais de métaux non ferreux; Industrie du cuir et de la chaussure; Imprimerie; Industrie chimique de base; Métallurgie; Sidérurgie (CECA); Production de métaux non ferreux; Fabrication d'accumulateurs et de piles électriques
	1141ZZ0019/P (Duchassaing)		Anthraquinone + Fer	Ennoblement textile; Traitement des métaux ; mécanique générale	Apprêt et tannage des cuirs; Imprimerie; Industrie chimique de base; Fabrication d'autres produits chimiques
FRIG002	1147ZZ1315/RAIF1				
	1148ZZ0005/F (Kancel)		Al + Nickel	Fabrication de peintures et vernis; Production de métaux non ferreux; Traitement des métaux ; mécanique générale; Fabrication de machines et appareils électriques	Trop nombreux cas possibles
	1150ZZ0034/FORAGE (Celcourt)		Al	Ennoblement textile; Industrie du papier et du carton; Fabrication d'autres produits chimiques; Industrie du caoutchouc; Traitement des métaux ; mécanique générale	Trop nombreux cas possibles
	1160ZZ0010/F				
	1160ZZ0011/F				
	1160ZZ0027/S (Vangout)	Fer	Manganèse	Métallurgie	Ennoblement textile; Imprimerie; Industrie chimique de base; Fabrication de verre et d'articles en verre; Sidérurgie (CECA); Captage, traitement et distribution d'eau; Assainissement, voirie et gestion des déchets
	1160ZZ0030/FORAGE				
FRIG003	1161ZZ0001/F (Balisier)	Aluminium		Trop nombreux cas possibles	Trop nombreux cas possibles
	1161ZZ0002/F (Etang noir)	Antimoine	Nickel	Fabrication de peintures et vernis; Fabrication de verre et d'articles en verre; Métallurgie; Production de métaux non ferreux; Fabrication d'accumulateurs et de piles électriques	Industrie chimique de base; Fabrication d'autres produits chimiques; Transformation des matières plastiques; Fabrication de produits céramiques; Première transformation de l'acier (non CECA); Fonderie; Fabrication de machines et appareils électriques
	1161ZZ0009/FORAGE (Calebassier)	Chrome		Trop nombreux cas possibles	Trop nombreux cas possibles
	1163ZZ0007/F (Rabi)				
	1156ZZ0040/SOURCE	Fer + Manganèse + Nickel	Aluminium	Métallurgie	Fabrication de peintures et vernis; Fabrication de verre et d'articles en verre; Sidérurgie (CECA); Production de métaux non ferreux; Traitement des métaux ; mécanique générale; Assainissement, voirie et gestion des déchets
	1157ZZ0017/SOURCE				
	1158ZZ0125/SOURCE				
FRIG004	1159ZZ0015/SOURCE				
	1159ZZ0027/SOURCE	Cadmium		Trop nombreux cas possibles	Trop nombreux cas possibles
	1159ZZ0028/SOURCE				
	1159ZZ0048/SOURCE				
	1143ZZ0032/PUITS	Fer		Ennoblement textile; Métallurgie; Sidérurgie (CECA); Traitement des métaux ; mécanique générale	Extraction de minerais de métaux non ferreux; Apprêt et tannage des cuirs; Industrie du papier et du carton; Imprimerie; Industrie chimique de base; Fabrication d'autres produits chimiques; Captage, traitement et distribution d'eau; Services divers fournis principalement aux entreprises; Activités pour la santé humaine; Assainissement, voirie et gestion des déchets
FRIG006	1152ZZ0040/SOURCE (Barlagne)	Fer	Aluminium + Cadmium + Manganèse	Métallurgie; Assainissement, voirie et gestion des déchets	Industrie chimique de base; Fabrication de peintures et vernis; Fabrication de verre et d'articles en verre; Sidérurgie (CECA); Production de métaux non ferreux; Fonderie; Traitement des métaux ; mécanique générale

Tableau 29 : Pressions théoriques associées aux micropolluants minéraux quantifiés sur les points de prélèvements de Guadeloupe

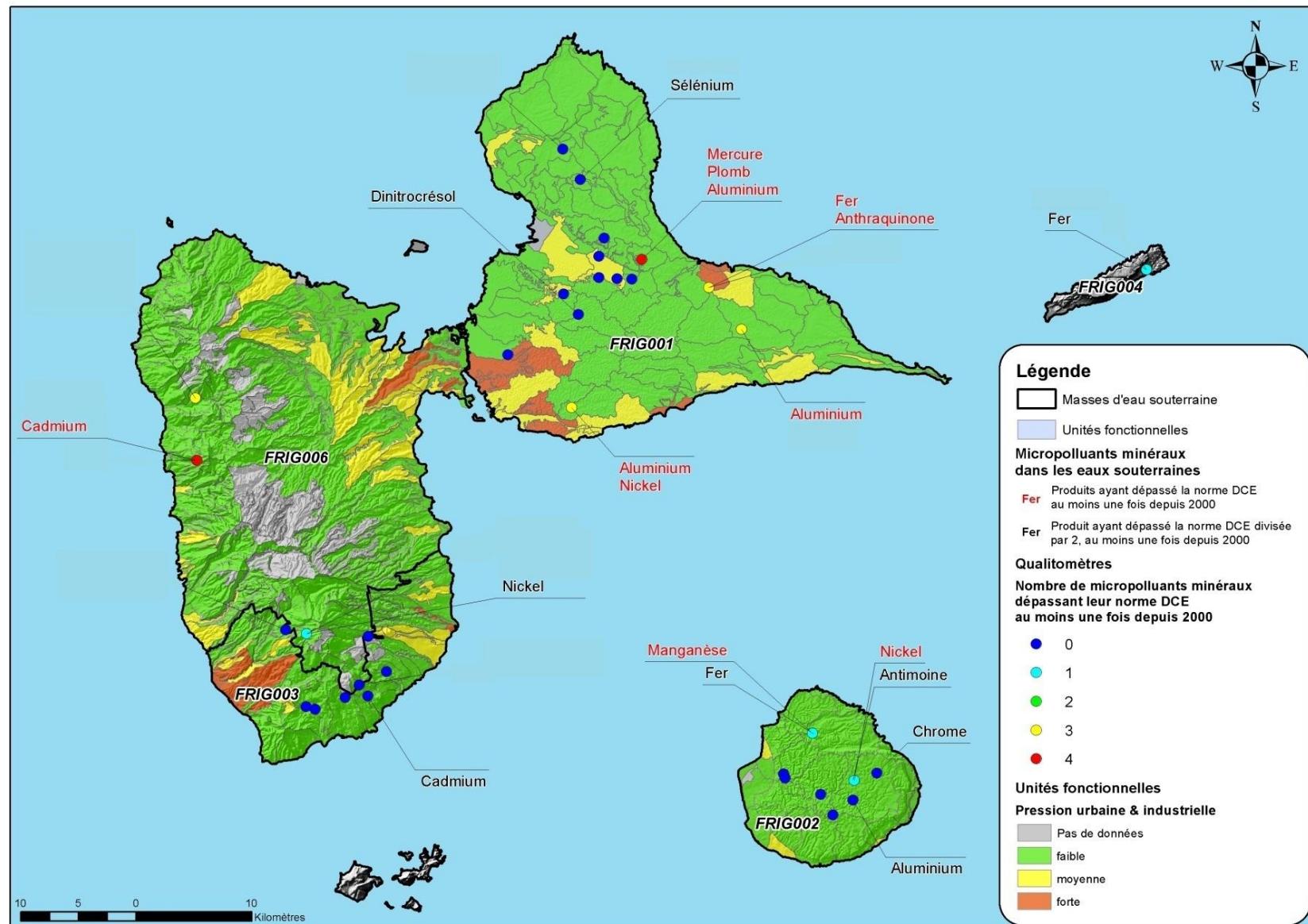


Illustration 23 : Carte des impacts des pressions ponctuelles d'origine potentiellement industrielles

Il est également important de préciser que, pour certains points présentant une détection ou des dépassements de seuils et ne présentant pas de fond géochimique élevé, la présence de métal n'a pas forcément pour origine une pollution industrielle. C'est le cas par exemple à Marie-Galante (FRIG002) où certains points présentent des teneurs en métaux s'approchant de la norme DCE voire la dépassant mais qui ne subissent cependant aucune pression industrielle alentour. Le forage de Vangout (n°BSS 1160ZZ0027/S) présente par exemple des concentrations en manganèse (dépassant la valeur seuil) et en fer. Pourtant celui-ci ne subit aucune pression anthropique industrielle. Les seuls facteurs anthropiques pouvant être à l'origine de cette présence de métaux serait : (1) la proximité de la route où la fréquentation reste limitée, et (2) la présence d'un ancien abreuvoir pour le bétail au droit du forage. On a donc ici probablement un fond géochimique en manganèse et fer non signalé dans l'étude fond géochimique en raison de son caractère localisé.

Selon l'Illustration 23 et d'après les données physico-chimiques disponibles, la plupart des dépassements de norme concernent des captages AEP. Pour exemple, la distillerie de Bellevue à Marie-Galante (FRIG002) est entourée par les captages d'Etang Noir (1161ZZ0002), les Balisiers (1161ZZ0001) et Calebassier (1161ZZ0009), à des distances respectives de 1,06 km, 1,2 km et 2,44 km. Ces captages ont des teneurs en antimoine, chrome et aluminium approchant de leur norme de potabilité respective. Le captage d'Etang Noir présente des dépassements de norme pour le paramètre nickel. En l'absence de la délimitation des bassins d'alimentation, il est difficile d'évaluer l'impact des pressions industrielles sur un captage et donc sur une masse d'eau. Bénéficiant de périmètre de protection et n'étant a priori entouré d'aucune autre industrie, les contaminations ainsi enregistrées seraient donc ponctuelles. Il est également important de préciser que les matériaux de construction des forages peuvent potentiellement contribuer à un apport en élément dissous. A ce stade, il est impossible de statuer quant à un lien pression-impact pour les industries sur la masse d'eau de Marie-Galante.

C'est également le cas pour la masse d'eau du Nord Basse-Terre (FRIG006) où les dépassements de normes pour le paramètre cadmium sont peu explicables puisque le captage de source de Barlagne (1152ZZ0040) se situe dans le Parc National de Guadeloupe, donc en amont de potentielle pollution anthropique. Cependant la délimitation du bassin hydrogéologique dans lequel la résurgence est captée est actuellement inconnue, il n'est donc pas possible de statuer quant à un lien pression-impact pour cette masse d'eau.

Concernant la masse d'eau de la Grande-Terre (FRIG001), en recoupant la carte des pressions des rejets industriels réalisée par le prestataire avec celle de l'Illustration 23, le lien pression-impact semble difficile à évaluer pour les captages de Celcourt (1150ZZ0034) et Kancel (1148ZZ0005) puisqu'aucune industrie en amont hydraulique n'a été recensée, alors qu'ils présentent des dépassements de seuil en aluminium et nickel. De plus, des pics de teneurs en micropolluants sont éventuellement imputables à des soucis analytiques ou des contaminations lors de l'échantillonnage. Par ailleurs sans connaissance de leur bassin d'alimentation, il est impossible d'affirmer une contamination d'origine industrielle de ces captages. C'est également le cas du captage de Duchassaing (1141ZZ0019) présentant de manière ponctuelle une concentration en fer de 560 µg/L (une fois en 2008) et une teneur en anthraquinone de 0,21 µg/L (une fois en 2006) ; la pression industrielle potentiellement responsable de ces contaminations pourrait être une distillerie située à environ 2 km à l'ouest du captage. Cependant ceux - ci se situent sur le même isopèze de 1 m NGG ; selon le comportement hydrodynamique de la nappe et donc le sens d'écoulement, le panache de pollution issue de la distillerie devrait s'étendre vers le littoral. Toutefois, seule la connaissance du bassin d'alimentation du captage de Duchassaing permettrait d'affirmer ou d'inflimer l'impact de l'activité de la distillerie.

### ❖ **Les pollutions issues des effluents de centrales thermiques**

Les centrales thermiques de Caraïbes Energie et la CTM rejettent leurs effluents en rivière à proximité de la côte atlantique. Leurs pressions sont significatives mais, selon les écoulements radiaux vers le littoral et l'absence de données en aval hydraulique du point de rejet, il est impossible de quantifier et d'évaluer leur potentiel impact sur la masse d'eau de Grande-Terre (FRIG001).

Deux centrales thermiques sont recensées sur la masse d'eau FRIG006 (EDF Jarry Nord et Sud). Selon le prestataire, seules les masses d'eau côtières subissent les pressions dues à ces centrales ; celles-ci rejetant leurs effluents dans le Petit Cul de Sac Marin. Toutefois lors de la campagne exceptionnelle de 2012 (BRGM/RP-62810-FR), des analyses ont été réalisées sur un forage situé dans le secteur des centrales thermiques de Jarry. Des teneurs en manganèse de 1,3 mg/L ont ainsi été relevées. Divers types de molécules organiques ont également été détectées à des teneurs pouvant dépasser les normes (biphenol A). Il est toutefois impossible de déterminer l'étendue de ces contaminations. L'impact de cette centrale sur l'ensemble de la masse d'eau souterraine FRIG006 est alors indéfini en raison du fonctionnement hydrodynamique de la nappe, inconnu à ce jour.

### ❖ **Pollutions émanant des décharges**

Afin de caractériser les impacts résultant des pressions des décharges, la cartographie des sites potentiellement contaminés (Illustration 4) a été recoupée avec la carte de vulnérabilité intrinsèque (Illustration 19) des masses d'eau et la carte des impacts ponctuels (Illustration 23).

Sur les 16 décharges encadrées de manière réglementaire, cinq sont situées sur des zones présentant une vulnérabilité intrinsèque forte (recouplement de l'Illustration 4 et de l'Illustration 19). Il s'agit des décharges de Petit Canal, Morne-à l'Eau, Baillif, Saint Louis et Grand Bourg (Illustration 4). Celles-ci sont localisées sur les bordures littorales. Par manque de données chimiques sur les eaux souterraines en aval hydraulique et au droit de ces décharges, il n'est pas possible de statuer quant à l'impact de quatre de ces cinq sites pollués sur les masses d'eau FRIG001, FRIG002 et FRIG003. Quant à la décharge de Baillif, le manque de connaissance sur le fonctionnement hydrodynamique de la masse d'eau du sud Basse-Terre et le manque de données chimiques aux alentours de la décharge ne permettent pas d'en évaluer l'impact.

Pour les autres décharges situées sur des zones à vulnérabilité moins forte, on constate, en recoupant la carte de l'Illustration 23 et celle de l'Illustration 4, que les sites de décharges sont situés à l'aval des points présentant des dépassements de normes DCE depuis 2000 ; à l'exception de la décharge du Moule à Blanchard située en amont hydraulique du point DCE de Blanchard (1141ZZ0016) qui présente des dépassements de norme pour les éléments aluminium, mercure et plomb. Ce constat laisse supposer que la décharge du Moule fait partie intégrante du bassin d'alimentation du captage de Blanchard. Cependant, sans la délimitation de cette AAC, on ne peut affirmer l'impact de cette décharge sur les eaux souterraines. De plus, les dépassements de norme pour les micropolluants considérés (mercure et plomb) ne sont pas observables sur l'ensemble de la masse d'eau ; à l'exception du paramètre aluminium retrouvé à des teneurs supérieures à sa valeur seuil sur des captages situés au sud de la masse d'eau (Kancel –1148ZZ0005 et Celcourt –1150ZZ0034). Mais selon les écoulements de la nappe de Grande Terre, les contaminants émanant de la décharge du Moule ne devraient pas atteindre ces captages. Ainsi, l'impact potentiel de cette décharge ne peut être pour le moment généralisé à l'ensemble de la nappe. La nappe serait considérée dégradée et impactée par la décharge du Moule si celle-ci impliquait une contamination atteignant 20% de la masse d'eau de Grande-Terre. Au vu des dépassements de norme des concentrations en métaux lourds, la

surveillance étroite de la décharge du Moule doit être entreprise. Il est également nécessaire de limiter ses éventuels impacts sur la masse d'eau.

Par ailleurs, le centre de stockage des déchets ultimes de Sainte Rose a fait l'objet de prélèvements et d'analyses lors de la campagne exceptionnelle de 2012 dans le cadre de recherche de nouvelles molécules émergentes dans les eaux souterraines (BRGM/RP-62810-FR). Celle-ci a révélé des détections en divers substances phytosanitaires, pharmaceutiques, industrielles et domestiques. La pression du CSDU est donc significative. Malgré un impact localement avéré, il n'est à ce jour pas possible de définir si celui-ci peut avoir une importance sur l'ensemble de la masse d'eau. Selon la DCE, l'impact serait avéré pour la masse d'eau FRIG006 si celui-ci atteint 20% de la surface ou du volume de la masse d'eau. Bien que certaines de ces substances soient également détectées à la centrale thermique de Jarry dans le cadre de la même campagne, par manque de connaissance sur l'hydrodynamisme de la masse d'eau du Nord Basse-Terre, il est impossible de statuer quant à une relation hydraulique entre ces deux points.

#### ❖ **Pollution ponctuelle issue de la filière canne/rhum**

Les industries de la filière canne/rhum ne constituent pas **au titre de la DCE** des pressions ponctuelles à prendre en compte dans cette étude de Pression-Impact. Toutefois, au vue de l'ampleur de cette filière à l'échelle de l'archipel guadeloupéen, celle-ci nécessite d'être traitée dans ce chapitre.

Toutes les masses d'eau du bassin Guadeloupe, à l'exception de la Désirade (FRIG004), possèdent des industries de la filière canne. Toutefois, leur impact sur les eaux souterraines est difficile à évaluer. En effet, en recoupant les données des Illustration 3, Illustration 23 et du Tableau 29, plusieurs points semblent être impactés de manière ponctuelle par les distilleries. C'est le cas du captage de Duchassaing (1141ZZ0019) en raison de ses dépassements de norme en fer et anthraquinone et la proximité de la distillerie Damoiseau. Ceci est également observable à Marie-Galante (FRIG002) où trois points aux alentours de la distillerie Bellevue présentent des teneurs en métaux s'approchant ou dépassant les normes. En l'absence de connaissance des bassins d'alimentation des captages présentant des contaminations, il est impossible de statuer quant à un impact potentiel de ces distilleries sur ces points.

## **2) Liens Pression-Impact pour les pressions ponctuelles d'origine urbaine**

#### ❖ **Les polluants issus de l'assainissement**

Les rejets des stations d'épuration (STEP) peuvent avoir un impact direct sur les masses d'eau souterraine s'ils sont infiltrés. L'appréciation des impacts des rejets de macropolluants est estimée à partir des données des différents suivis physico-chimiques réalisés sur les eaux souterraines de l'ARS, du BRGM et de l'Office de l'Eau. Celles-ci, disponibles sur ADES, ont été traitées sur la période 2003-2013 pour les paramètres  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et la DBO5.

Les concentrations en nitrate supérieures à 10mg/L, révélant un impact anthropique, ne concernent a priori qu'une pollution d'origine agricole ; c'est le cas de cinq points situés dans l'est et le nord de la masse d'eau FRIG001. Ceci étant dû à la présence de canne sur ces secteurs. Il n'est toutefois pas possible de déterminer la part ayant pour origine les pratiques agricoles et celle concernant l'assainissement. Il est à rappeler que malgré ces concentrations élevées, la valeur médiane n'est jamais élevée au regard de la norme réglementaire (50 mg/L) du fait, en partie sans doute, de la dénitrification (cf. page 55). Concernant l'ammonium, il est rarement retrouvé dans les eaux souterraines à des concentrations dépassant la valeur seuil (0,5 mg/L). Sa présence dans les eaux souterraines dépend principalement des conditions

d'oxydo-réduction du milieu. Les variations de ces conditions dans les différentes masses d'eau conduisent localement à des dénitrifications partielles. Ceci est actuellement difficilement quantifiable. Et une surveillance plus poussée des conditions favorables ou non à la dénitrification est nécessaire afin de prévenir une dégradation de la qualité des masses d'eau souterraine vis-à-vis des paramètres azotés. Une estimation des rejets issus de l'assainissement (collectif, non collectif et industriel) a été entreprise par un prestataire et présentée au chapitre 2.1.3.b). Ces rejets sont exprimés en kg/jour de DBO5 par masse d'eau souterraine. Malheureusement, aucune donnée sur les eaux souterraines n'est disponible pour ce paramètre. Le lien pression-impact pour l'assainissement vis-à-vis de la DBO5 est impossible à établir ici. La pollution engendrée par l'assainissement s'évalue également grâce à l'élément phosphore sous sa forme phosphate, mais uniquement dans les eaux de surface. En effet cet élément ne transite pas jusqu'aux eaux souterraines puisque celui-ci reste au niveau des sols. Il ne constitue donc pas un bon indicateur de l'impact de l'assainissement sur les eaux souterraines.

Finalement, concernant l'assainissement, en l'absence d'indicateurs suffisamment représentatifs d'impact sur les eaux souterraines, il est difficile d'évaluer la relation pression-impact. Il serait alors important d'initier des études plus poussées pour cette pression. A noter que les enjeux liés plus particulièrement à l'assainissement non collectif sont non négligeables, les eaux usées étant directement rejetées au milieu.

### 3) Autres pressions ponctuelles d'origine urbaine et/ou industrielle

#### ❖ **Les substances pharmaceutiques d'origine industrielle ou/et urbaine**

Afin de compléter l'analyse des liens entre les pressions d'origine urbaine et leurs impacts sur les eaux souterraines de Guadeloupe, les résultats de l'étude prospective menée en 2012 (Lopez *et al.*, 2014) ont été consultés. Ainsi, parmi les substances d'origine urbaine quantifiées dans les eaux souterraines de Guadeloupe, 9 sont des substances pharmaceutiques (2-hydroxy-ibuprofène, paracetamol, bénazafibrate, carbamazépine, diclofenac, drospirenone, ibuprofène, kétoprofène, metformine et ofloxacine) et une est un antibactérien (le triclosan) présent dans de nombreux produits d'usage quotidien. 10 points de prélèvements ont été échantillonnés en Guadeloupe lors de l'étude prospective. Au moins une des 10 substances précédemment citées a été quantifiée en chacun des points de prélèvement.

Les substances d'origine urbaine quantifiées dans les eaux souterraines de Guadeloupe lors de l'étude prospective 2012 sont listées en chacun des points échantillonnés et représentées sur la carte en Illustration 24. Cette carte est complétée par l'Illustration 25 sur laquelle ne figurent plus que les substances dont la concentration maximale a dépassé la valeur de référence 0,01 µg/L (valeur discriminante en rapport avec le seuil de préoccupation toxicologique pour les substances à effets perturbateur endocrinien suspectés).

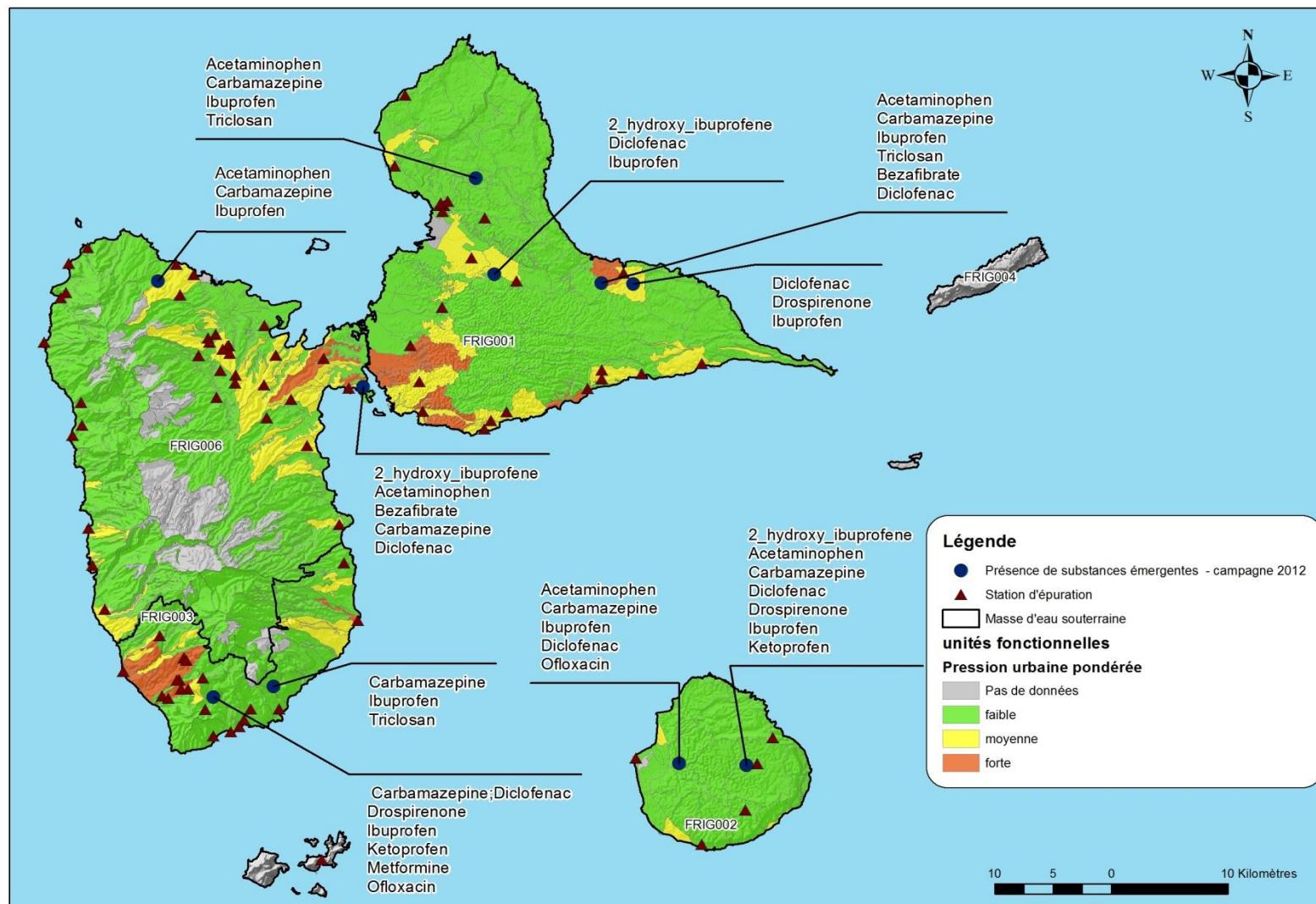


Illustration 24 : Carte pression-impact des produits pharmaceutiques et antibactériens utilisés préférentiellement en milieu urbain

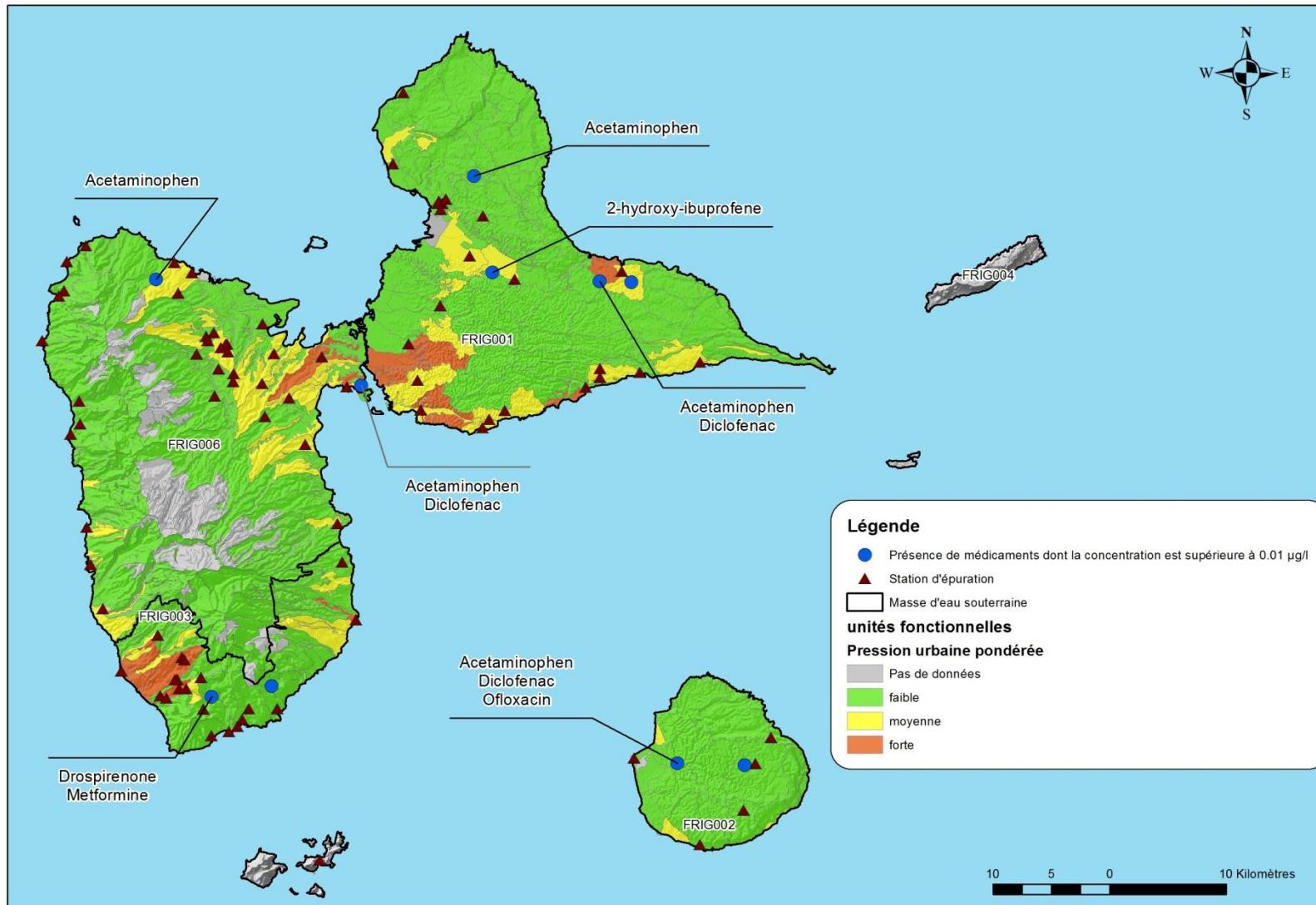


Illustration 25 : Carte pression-impact des produits pharmaceutiques dont la concentration dans les eaux souterraines a dépassé 0,01 µg/L lors de l'étude prospective 2012

## 2.3. BILAN SUR L'ETABLISSEMENT DES NIVEAUX D'IMPACT AU DROIT DES MASSES D'EAU

La caractérisation de l'impact réside sur le principe que celui-ci est considéré comme existant dès lors que le lien entre une pression et un état « dégradé » est identifié. L'état dégradé ou non des eaux souterraines est qualifié selon les éléments suivants :

- Etat (ou niveau de dégradation) : selon que certaines substances sont ou non détectées et dépassent ou non les critères de qualité ;
- Pérennité de la dégradation : selon que celle-ci a été occasionnelle et non confirmée, ou chronique ;
- Etendue de la dégradation : selon que la dégradation est constatée localement uniquement ou de façon plus généralisée ;
- Niveau de confiance de l'information : selon que les données sont suffisantes ou au contraire insuffisantes, éparses et trop ponctuelles.

Le niveau d'impact est alors établi en fonction du lien entre les pressions existantes et l'état de dégradation des eaux souterraines. Ainsi pour chaque masse d'eau considérée un niveau d'impact a été établi selon la grille suivante :

	Présence de pression identifiée	Incertitude sur les pressions	Absence de pression identifiée
Présence d'un état dégradé	Impact avéré et attribué	Impact incertain (dégradation avérée mais d'origine incertaine)	Impact incertain (dégradation avérée et inexpliquée)
Incertitude sur l'état des eaux	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Incertaines sur les pressions et impacts	Impact incertain (état incertain sans pression identifiée)
Absence d'état dégradé	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions potentielles)	Absence avérée d'impact (état non dégradé et absence de pression)

Tableau 30 : Etablissement du niveau d'impact en fonction du lien entre des pressions existantes et l'état de dégradation des eaux souterraines

Cette grille peut entraîner des problèmes d'interprétation en raison du manque d'information sur l'étendue de la dégradation. Toutefois, pour chaque niveau d'impact évalué pour une masse d'eau par pression, un niveau de confiance est attribué en fonction du nombre de points ayant bénéficié d'analyses chimiques conduisant à ce jugement (quand cette information est disponible) et/ou à dire d'expert.

La synthèse des relations pression-impact à l'échelle de l'archipel pour toutes les pressions recensées et le niveau de confiance attribué sont présentés dans le Tableau 31.

Pour rappel, les industries de la filière canne/rhum ne constituent pas des pressions à considérer dans le cadre de la DCE, celles-ci ne sont donc pas présentées dans le tableau suivant. De plus, aucune relation pression-impact significative n'a été analysée au chapitre précédent.

Masses d'eau	Prélèvements AEP/Irrigation/Industries	Assainissement	Pression agricole		Pollution industrielle		
			Pesticides	Fertilisants azotés	centrale thermique	carrières	décharges
Grande-Terre (FRIG001)	Impact avéré et attribué	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact avéré et attribué	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
	2	4	5	1			1
Marie-Galante (FRIG002)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions ponctuelles)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Impact avéré et attribué	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Absence avérée d'impact (état non dégradé et absence de pression)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
			2				
Sud Basse-Terre (FRIG003)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions ponctuelles)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact avéré et attribué	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
		1	6				
La Désirade (FRIG004)	Absence avérée d'impact (état non dégradé et absence de pression)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Incertitudes sur les pressions et les impacts	Incertitudes sur les pressions et les impacts	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
Saint-Martin (FRIG005)	Incertitudes sur les pressions et les impacts	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Incertitudes sur les pressions et les impacts	Incertitudes sur les pressions et les impacts	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
Nord Basse-Terre (FRIG006)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions ponctuelles)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)
					1		1



Tableau 31 : Synthèse des relations pressions-impact pour les eaux souterraines (les chiffres indiqués correspondent au nombre de points d'eau impactés)

### 2.3.1. Grande-Terre (FRIG001)

#### a) *Prélèvements*

La masse d'eau de Grande-Terre est particulièrement sensible aux intrusions salines. Plusieurs points situés dans le Nord Grande-Terre présentent des concentrations élevées en chlorures et des conductivités dépassant les normes. Ces teneurs sont affectées à une potentielle remontée locale de l'interface eau douce – eau salée. L'impact des prélèvements sur la nappe de Grande-Terre est alors considéré comme avéré et attribué avec un niveau de confiance élevé.

#### b) *Pression ponctuelle d'origine urbaine : assainissement collectif et non collectif*

L'absence d'indicateurs suffisamment représentatifs d'un potentiel impact de la pression assainissement sur les eaux souterraines ne permet pas de statuer quant à une relation pression-impact. L'état de dégradation étant incertain alors que les pressions sont bien présentes (densité d'habitation + rejets DBO5 estimés). Un niveau de confiance moyen est affecté ici en raison de l'influence agricole.

#### c) *Pollutions diffuses issus des produits phytosanitaires*

Depuis 2000, cinq points sur la masse d'eau de Grande-Terre ont présenté des détections de pesticides dont deux avec des dépassements de seuil. Ceci concernant les points situés aux alentours ou en aval hydraulique de champs de cannes à sucre, dans les Plateaux du Nord et au nord des Plateaux de l'Est. L'impact étant quantifié et avéré, le niveau de confiance est élevé.

#### d) *Pollutions diffuses azotées d'origine agricole*

La culture de la canne à sucre étant prédominante (avec la banane) dans l'agriculture de la Guadeloupe, la pression associée est donc forte. Le seul point DCE (Duchassaing - 1141ZZ0019/P) présentant des teneurs en nitrates importantes n'est pas suffisamment représentatif à l'échelle de la masse d'eau. L'impact de la pression azotée d'origine agricole est alors considéré comme modéré en raison de l'observation de contamination locale et également de la dénitrification réduisant potentiellement la pression sur les eaux souterraines.

#### e) *Pressions ponctuelles industrielles*

Les relations pression-impact pour les pressions industrielles recensées sur la Grande-Terre ne peuvent être établies par manque de données chimiques et de connaissance sur les divers bassins d'alimentation de captages.

### 2.3.2. Marie-Galante (FRIG002)

#### a) *Prélèvements*

Selon les données disponibles sur le réseau de surveillance qualitative DCE, aucun impact du aux prélèvements n'est à signaler sur la nappe de Marie-Galante. Cependant, d'un point de vue historique, certains captages en bordure littorale ont été fermés en raison d'une salinisation des

eaux captées (intrusion d'eau de mer probable). L'absence d'impact en dépit de pressions ponctuelles est à considérer avec un niveau de confiance moyen.

**b) *Pression ponctuelle d'origine urbaine : assainissement collectif et non collectif***

D'après les données chimiques disponibles, la masse d'eau souterraine de Marie-Galante ne semble pas affectée par l'assainissement collectif et non collectif, malgré que les pressions soient bien existantes.

**c) *Pesticides***

La contamination aux pesticides est avérée sur la masse d'eau de Marie-Galante. Plusieurs détections et dépassements de normes sur deux captages sont occurrentes et ce de manière régulière.

**d) *Pressions azotées d'origine agricole***

Bien que la pression azote soit forte sur Marie-Galante, en raison de la culture de canne, les teneurs en nitrates indiquent un impact limité sur la masse d'eau.

**e) *Pollution d'origine industrielle***

A l'instar de la Grande-Terre, aucun lien pression-impact n'a pu être établi pour les diverses pressions industrielles recensées sur Marie-Galante.

### **2.3.3. Sud Basse-Terre (FRIG003)**

**a) *Prélèvements***

En tenant compte des potentielles relations nappes-rivières en Basse-Terre, la pression de prélèvement des sources peut être potentiellement considérée significative pour les eaux souterraines. Les connections entre eaux de surface et aquifères étant à ce jour inconnues pour le sud Basse-Terre et la masse d'eau souterraine n'étant pas exploitée par forages, l'impact n'est pas avéré à ce jour (état non dégradé en dépit de pressions ponctuelles).

**b) *Pression ponctuelle d'origine urbaine : assainissement collectif et non collectif***

Les pressions au niveau de l'assainissement sont fortes dans le sud Basse-Terre. Les teneurs en nitrates étant faibles et leur origine étant ambiguë vis-à-vis des pressions agricoles, l'impact de la pression assainissement est incertain.

**c) *Pollutions diffuses issus des produits phytosanitaires***

La détection et les dépassements de normes pour plusieurs pesticides sont régulièrement occurrents pour plusieurs points de la masse d'eau du Sud Basse-Terre.

#### **d) Pollutions diffuses azotées d'origine agricole**

Malgré une pression très significative (cultures de bananes), les teneurs en nitrates sont faibles, probablement en raison de la dénitrification. L'impact est alors jugé incertain avec un niveau de confiance fort.

#### **e) Pressions ponctuelles industrielles**

Par manque de données chimiques sur l'ensemble de la masse d'eau FRIG006, aucun lien pression-impact n'est définissable pour les pressions ponctuelles d'origine industrielle

### **2.3.4. La Désirade (FRIG004)**

#### **a) Prélèvements**

L'alimentation en eau potable de La Désirade est effectuée via une canalisation sous-marine en provenance de la Grande-Terre. Aucun prélèvement d'eau souterraine n'est effectif. Toutefois, même si les eaux souterraines de la Désirade présentent des teneurs en chlorures fortes en raison du fond géochimique fort identifié, nous considérerons que son état est non dégradé en l'absence de pression anthropique.

#### **b) Pression ponctuelle d'origine urbaine : assainissement collectif et non collectif**

Les teneurs en nitrates dépassent ponctuellement les 10 mg/L témoignant d'une contamination anthropique. L'origine de cette contamination est difficilement définissable, puisque celle-ci peut provenir de caprins rôdant autour de l'unique point de surveillance qualitative DCE de la Désirade, ou alors de l'assainissement non collectif des lotissements alentours. Les pressions sont bien existantes sur tout le littoral sud de l'île mais leur impact est alors incertain.

#### **c) Pollutions diffuses issus des produits phytosanitaires**

Aucun dépassement ni approche de norme pour les pesticides n'est recensée pour la masse d'eau de la Désirade. Par ailleurs, l'utilisation potentielle de produits phytosanitaires sur la Désirade est inconnue.

#### **d) Pollutions diffuses azotées d'origine agricole**

Comme il a été noté dans le paragraphe 2.3.4b), l'origine des contaminations en nitrates est douteuse. De plus, les pressions en elles-mêmes sont inconnues. Le lien pression-impact ne peut être établi.

#### **e) Pressions ponctuelles industrielles**

Aucune donnée ne permet d'établir une relation pression-impact pour les centrale thermique, carrière et décharge situés sur l'île.

### **2.3.5. Saint-Martin (FRIG005)**

A l'exception de certaines informations sur des pressions présentes à Saint Martin, aucune donnée ne permet d'établir de liens pression-impact pour la masse d'eau FRIG005.

### **2.3.6. Nord Basse-Terre (FRIG006)**

#### **a) *Prélèvements***

A l'instar du Sud Basse-Terre, En tenant compte des potentielles relations nappes-rivières en Basse-Terre, la pression de prélèvement des sources peut être potentiellement considérée significative pour les eaux souterraines. Les connections entre eaux de surface et aquifères étant à ce jour inconnu pour le sud Basse-Terre et la masse d'eau souterraine n'étant pas exploitée par forages, l'impact n'est pas avéré à ce jour (état non dégradé en dépit de pressions ponctuelles).

#### **b) *Pression ponctuelle d'origine urbaine : assainissement collectif et non collectif***

Les pressions au niveau de l'assainissement sont fortes dans le nord Basse-Terre. Cependant, les teneurs en nitrates sur le seul point de surveillance DCE de la masse d'eau sont très faibles, voire inférieures aux limites de quantification. Par manque d'indicateurs spécifiques à la pression assainissement, l'impact est considéré incertain avec un niveau de confiance moyen.

#### **c) *Pollutions diffuses issus des produits phytosanitaires***

Aucune détection de pesticides n'est occurrente sur le nord Basse-Terre. Pourtant les pressions sont significatives. La masse d'eau du nord Basse-Terre ne possédant qu'un seul point de surveillance DCE, l'impact de la pression phytosanitaire ne peut donc pas être déterminé avec certitude.

#### **d) *Pollutions diffuses azotées d'origine agricole***

Malgré une pression significative (cultures de bananes et canne), les teneurs en nitrates sont faibles, probablement en raison de la dénitrification. L'impact est alors jugé incertain avec un niveau de confiance moyen.

#### **e) *Pressions ponctuelles industrielles***

Les contaminations d'origine industrielle relevées lors de la campagne exceptionnelle de 2012 ne permettent pas d'établir de lien pression-impact pour l'ensemble de la masse d'eau en raison de manque de données sur l'étendue de ces pollutions mais également en raison du manque de connaissance sur l'hydrodynamisme de la Basse-Terre.

### **2.3.7. Bilan des niveaux d'impact à l'échelle de l'archipel**

Finalement, des pressions fortes sont avérées sur les masses d'eau de Grande-Terre (FRIG001), Marie-Galante (FRIG002) et du Sud Basse-Terre (FRIG006). Les pressions mises en causes sont les prélèvements (FRIG001) et les produits phytosanitaires (FRIG001, FRIG002 et FRIG003).



### **3. Définition de scénarios tendanciels à l'horizon 2021 par l'emploi de méthodes adaptées au contexte Guadeloupéen**

Le « scénario d'évolution » a pour objectif de préciser les tendances d'évolution des pressions, aux fins d'une évaluation de leurs impacts probables sur l'état des masses d'eau. La construction du scénario d'évolution repose sur une analyse de l'évolution des forces motrices (ou activités générant les pressions) et des pressions qu'elles génèrent. Il intègre :

- L'analyse de l'évolution des forces motrices en identifiant les milieux soumis à des pressions anthropiques croissantes tant par la croissance des populations et des activités que par des aménagements liés à des politiques sectorielles (vitalisation urbaine, modification des cultures, pratiques agricoles, transports, ...) sur la base de chroniques disponibles et de la synthèse des documents relatifs à l'aménagement du territoire ;
- Une appréciation des impacts de l'aménagement du territoire et des politiques sectorielles sur les évolutions des pressions à l'horizon 2021 (engagements internationaux, projets d'aménagement, orientations régionales, SDAGE ...) ;
- Une évaluation des impacts résiduels à l'horizon 2021, en tenant compte de la mise en œuvre du programme de mesures 2010-2015 (directive eaux résiduaires urbaines, directive nitrates ou de tout autre plan d'actions défini localement).

Les secteurs à considérer dans l'élaboration des scénarios tendanciels sont :

- la démographie (en particulier l'évolution en lien avec l'Alimentation en Eau Potable),
- l'industrie (prélèvements et rejets),
- l'agriculture (prélèvements et pollutions).

L'étude des scénarios de tendance d'évolution des pressions, à l'échelle des différents types de masses d'eau, a été confiée au bureau d'étude mandaté pour réaliser l'inventaire des pressions en Guadeloupe.

Le BRGM dispose toutefois d'outils spécialisés permettant de mettre en évidence des tendances relatives à la qualité des eaux souterraines spécifiquement. Aussi, dans l'objectif d'affiner certains scénarios de tendance évalués par le prestataire, quelques outils adaptés à la Guadeloupe seront mis en œuvre.

Pour l'étude qualitative, afin d'aider à la détection des chroniques de concentration en augmentation, un outil de traitement statistique (HYPE) mis au point au BRGM a été utilisé<sup>1</sup>. Celui-ci permet notamment de caractériser des séries temporelles et d'identifier statistiquement des tendances d'évolution de n'importe quel contaminant dans les eaux souterraines par l'exécution d'une série de tests. Il permet également d'éditer des graphiques.

D'un point de vue quantitatif, c'est le modèle hydrodynamique de Grande-Terre qui a été exploité pour étudier les tendances d'évolution des niveaux piézométriques en fonction des différents scénarios préalablement définis sur la base des nouveaux projets de forages AEP.

### **3.1. TRAITEMENT STATISTIQUE PAR L'EMPLOI DE L'OUTIL HYPE POUR L'ESTIMATION DES TENDANCES**

#### **3.1.1. Extraction et pre-traitement**

##### **a) Extraction Ades**

La première étape de l'analyse statistique a été d'extraire les données de la base ADES. Cette extraction a été réalisée le 29 janvier 2014.

Compte tenu de la problématique, l'extraction a été faite par masse d'eau souterraine ; tous les points d'eau des 5 masses d'eau de l'archipel Guadeloupéen ont été sélectionnés. Le Tableau 32 indique le nombre de points qui sont disponibles dans ADES, par masse d'eau et précise la nomination courante de ces ouvrages.

---

<sup>1</sup> Lopez, B., Croiset, N., Surdyk, N., Brugeron, A. (2013). *Développement d'outils d'aide à l'évaluation des tendances dans les eaux souterraines au titre de la DCE*. Rapport BRGM, RP-61855-FR. 93 p.

Massé d'eau	Code national BSS	Dénomination
FRIG001	1135ZZ0002/P	Pelletan
	1135ZZ0069/S	Charropin
	<b>1140ZZ0001/CH1</b>	<b>Chazeau</b>
	1140ZZ0008/F	Perrin
	1140ZZ0011/P	Jabrun
	1140ZZ0044/S	Gensolin
	<b>1141ZZ0015/F</b>	<b>Marchand</b>
	<b>1141ZZ0016/P</b>	<b>Blanchard</b>
	<b>1141ZZ0019/P</b>	<b>Duchassaing</b>
	1148ZZ0005/F	Kancel
FRIG002	1150ZZ0034/FORAGE	Celcourt/Sainte Marie
	<b>1160ZZ0011/F</b>	<b>Source 2</b>
	<b>1160ZZ0011/F</b>	<b>Source 2</b>
	<b>1160ZZ0027/S</b>	<b>Vangout</b>
	1160ZZ0030/FORAGE	Mouessant
	1161ZZ0001/F	Pont des Balisiers
	1161ZZ0002/F	Bezard (Etang Noir)
	1161ZZ0009/FORAGE	Boulogne/Calebassier
	1163ZZ0007/F	Rabi
FRIG003	1160ZZ0010/F	Sources N°1 Aval
	1140ZZ0045/S	Picard
	<b>1156ZZ0037/SOURCE</b>	<b>Roudelette Nord</b>
	1159ZZ0060/TETE-C	Tête Canal
	1156ZZ0040/SOURCE	Les Balisiers
	1157ZZ0017/SOURCE	Marquisat
	1158ZZ0125/SOURCE	Source de Belle-terre
	1159ZZ0015/SOURCE	Tabacco 1
	<b>1159ZZ0027/SOURCE</b>	<b>La Plaine</b>
	1159ZZ0028/SOURCE	Hermitage
FRIG004	1159ZZ0048/SOURCE	Source Soldat
	<b>1143ZZ0032/PUITS</b>	<b>Pioche</b>
FRIG006	<b>1144ZZ0005/SOURCE</b>	<b>Beaujean Les Plaines</b>
	1152ZZ0040/SOURCE	Barlagne

Tableau 32 : localisation et nomination courante des points d'eau étudiés en fonction des masses d'eau de la Guadeloupe (les points en gras sont les points du réseau RCS)

### **b) Outil de traitements statistiques**

Pour aider à la détection des chroniques de concentration en augmentation, un outil de traitement statistique, nommé HYPE, mis au point au BRGM a été utilisé (Lopez et al., 2013). Celui-ci permet de détecter les tendances dans les chroniques de concentration de manière statistique et d'éditer des graphiques.

La recherche de tendance commence par une évaluation de la normalité de la distribution des données, afin de savoir s'il est possible d'appliquer des tests paramétriques ou non paramétriques à ces données. La normalité est testée pour les chroniques disposant d'au moins 3 analyses en appliquant le test de Shapiro-Wilk. Si la p-value du test de Shapiro est inférieure à 0,05, il faudra rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle les données sont normalement distribuées.

Si les données sont normalement distribuées, un calcul de régression linéaire est effectué pour les chroniques disposant d'au moins 5 analyses. Les hypothèses sous-jacentes à l'application d'une régression linéaire sont : la normalité de la distribution des données, l'homogénéité de la variance et une relation linéaire entre la variable expliquée et la variable explicative. Le  $r^2$  est calculé ainsi que la pente de régression. La p-value de la régression est donnée. La tendance est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 0,05 (5%).

Le test de Mann-Kendall est associé au calcul de la pente de Sen. Il est appliqué sur toutes les chroniques non stationnaires disposant d'au moins 10 analyses. La tendance est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 5%. Les calculs de pente et les tests de Mann-Kendall sont réalisés quelque soit le résultat du test de Shapiro.

Des changements de moyenne sont aussi recherchés par l'outil. Pour rechercher un changement de moyenne dans la chronique, deux tests d'homogénéité peuvent être appliqués. Si les données sont normalement distribuées, le test appliqué est le test paramétrique de Buishand. Dans le cas contraire, on applique le test non paramétrique de Pettitt.

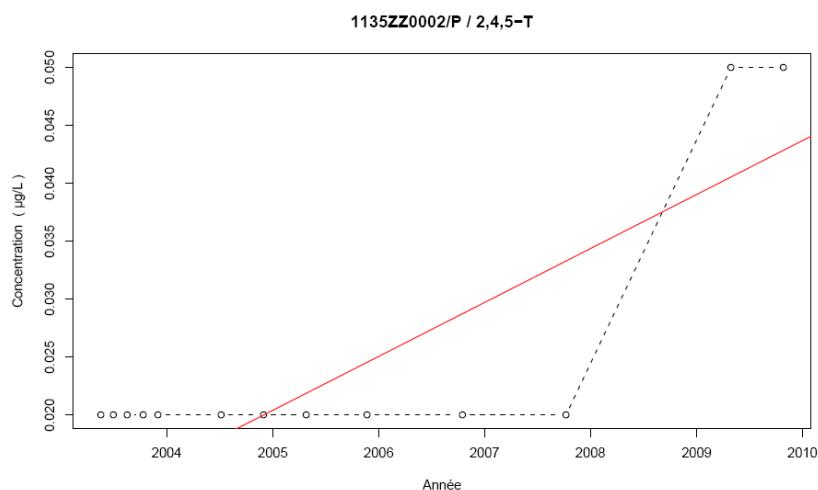
Si une rupture significative est détectée, les moyennes sur les tronçons pré- et post-rupture sont calculées. Le test de Pettitt est un test non paramétrique qui dérive du test de Mann-Whitney. Ce test est appliqué sur les chroniques non stationnaires disposant d'au moins 3 données et dont la distribution est non normale. La rupture est dite significative d'un point de vue statistique lorsque la p-value du test est inférieure à 5%. Le test de Buishand est un test paramétrique. Il est appliqué pour les chroniques disposant d'au moins 10 valeurs et dont la distribution est normale. Ce test suppose un non changement de la variance de la série.

Les clefs pour lire les sorties de l'outil sont présentées en Annexe 1. Un rapport complet est dédié à l'outil utilisé, le lecteur peut se référer au rapport BRGM (Lopez et al., 2013) s'il a besoin de plus d'informations, notamment en termes de référence statistique.

Toutes les chroniques ont été éditées et traitées par l'outil. Aucun paramètre n'a été écarté car l'état actuel d'un paramètre ne peut pas laisser présager de son état futur. En effet, si la concentration d'un paramètre est en augmentation, cela aboutira potentiellement à une concentration supérieure à la valeur seuil dans plusieurs années, bien que la concentration moyenne soit sous la valeur seuil aujourd'hui.

Les couples paramètres/points d'eau les plus pertinents et intéressants sont discutés dans la partie 3.1.2 et leurs graphiques sont généralement repris en Annexe 2. Les couples pour lesquels la concentration est statistiquement en hausse font toujours partie des couples pertinents.

Certaines substances dont la concentration semble augmenter du fait sans doute d'un changement de méthode analytique ont été écartées. L'Illustration 26 permet d'expliquer le phénomène. En effet, pour l'herbicide 2,4,5-T par exemple, mesuré dans le point d'eau 1135ZZ0002/P (Pelletan), toutes les analyses sont déclarées sous le seuil de détection (rond blanc au lieu d'une croix noire sur le graphique), l'augmentation statistiquement calculée est engendrée par la modification de la technique d'analyse et à une augmentation du seuil de détection des 2 dernières analyses.



*Illustration 26 : "Tendance" détectée par l'outil. Toutes les valeurs sont sous la limite de quantification (rond blanc)*

Outre les paramètres dont la concentration est en augmentation, le comportement des couples paramètres/points qui ont été cités dans le rapport « *Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe dans le cadre de la révision de l'état des lieux de 2013* » (Ducreux et al., 2013) a aussi été analysé dans la partie 3.1.2.

S'il est aisément de détecter une erreur d'interprétation des résultats issus du calcul automatique effectué avec HYPE, il reste différents cas pour lesquels les résultats statistiques n'ont pas de signification du point de vue « environnemental ». Il est important de distinguer une tendance purement statistique d'une estimation de tendance d'évolution environnementalement significative.

Dans chaque masse d'eau, une analyse des chroniques des produits phytosanitaires les plus communément employés ces dernières années (Illustration 27) sur la Guadeloupe a été réalisée.

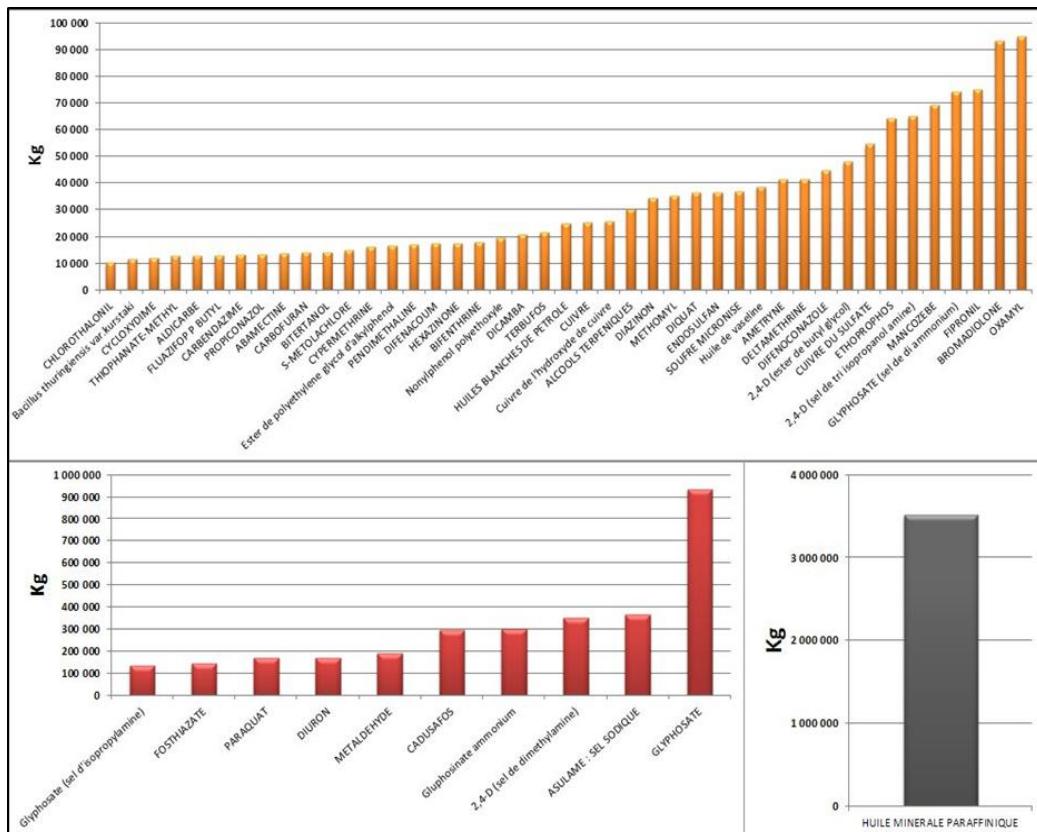


Illustration 27 : Liste des principales substances actives importées en Guadeloupe, en kg, entre 2002 et 2010 (d'après données fournies par la douane de Guadeloupe)

Dans tous les cas, les paramètres n'ayant pas de valeurs seuils au titre de la DCE du point de vue des eaux souterraines n'ont jamais été pris en compte quelque soit leur comportement. Ces paramètres (ex : calcium) sont généralement mesurés pour d'autres raisons (détermination du faciès hydrogéochimique, fond géochimique naturel etc.), c'est pourquoi ils apparaissent dans la base de données ADES.

### 3.1.2. Traitement par masse d'eau

#### a) FRIG001 - Calcaires de Grande-Terre

##### Conductivité

La conductivité est l'un des paramètres dont la *Mma* a été le plus souvent calculée au-dessus de la norme dans le rapport précédent. Par exemple, le point d'eau

1141ZZ0019/P (Duchassaing) avait été mis en évidence pour des dépassements de conductivité (à 20°C et 25°C).

La représentation graphique par l'outil pour ce point montre que la conductivité à 20°C reste stable à des valeurs élevées (entre 900 et 1000 µS/cm), ce qui est proche de la valeur seuil. L'outil montre que la chronique de concentrations de la conductivité à 25°C est orientée à la hausse (Annexe 2- Illustration 1). L'outil a utilisé une régression linéaire pour tester la tendance de la conductivité sur ce point. Après calcul, il semble que la chronique de conductivité (à 25°C) augmente de 34 µS/cm par an. Ces résultats sont néanmoins à prendre avec précautions puisque normalement, l'évolution de la conductivité, qu'elle soit étudiée à 20°C ou 25°C.

Une tendance à la hausse est aussi détectée pour la conductivité du point d'eau 1140ZZ0001/CH1 (Chazeau) (cf. Annexe 2- Illustration 2). La chronique est normalement distribuée ce qui implique que l'outil a pu utiliser la régression linéaire pour tester la tendance. L'outil a aussi réalisé un test de Mann-Kendall. Le test de Mann-Kendall montre une augmentation statistique de 2 µS/cm par an depuis 2008 (ce qui est peu significatif au vue des incertitudes analytiques). En revanche, la régression linéaire n'est pas significative.

Une augmentation par changement de moyenne a été détectée pour la conductivité à 20°C pour le point 1140ZZ0008/F (Perrin) en 2007. Cette augmentation existe aussi pour la conductivité à 25°C en 2009. Dans le cas de la conductivité à 20°C, la valeur maximale se situe aussi en dessous de la norme ( $\approx 800$  µS/cm).

Une augmentation non statistique est observée sur le point 1148ZZ0005/F (Kancel) (Annexe 2- Illustration 3). La moyenne sur ce point est aux alentours de 750 µS/cm mais la dernière mesure est supérieure, proche de la norme. Ce point est à surveiller car l'augmentation de conductivité observée est rapide bien qu'elle ne dépasse pas la norme pour l'instant.

Un dépassement de la conductivité avait été calculé dans le précédent rapport pour les points DCE 1135ZZ0002/P (Pelletan) et 1135ZZ0069/S (Charropin). Il n'est pas possible de détecter de tendance car il n'y a pas assez de données pour réaliser les tests statistiques proposés (5 valeurs entre 2008 et 2012 dans les deux cas).

### ***Chlorures***

L'étude précédente a montré que la *Mma* des chlorures dépasse la valeur seuil pour le point d'eau DCE 1135ZZ0069/S (Charropin) (Annexe 2- Illustration 4). Le calcul par l'outil montre une tendance à la hausse après une inversion de tendance. L'augmentation calculée est de 22 mg/L par an. Cette augmentation élevée, liée aux concentrations mesurées qui sont déjà élevées (max 672 mg/L), fait que le chlorure est un élément problématique pour ce point. Néanmoins, depuis la valeur maximale relevée en 2009, la concentration est en baisse.

Le site 1141ZZ0019/P (Duchassaing) présente une tendance à l'augmentation (Annexe 2- Illustration 5). Seul un test de Mann-Kendall a pu être réalisé (chronique

non normale) et celle-ci montre une tendance à l'augmentation de 2,5 mg/L par an. Vu la tendance et la valeur seuil (250 mg/L), les augmentations de concentration sur ce point ne posent pas de problème majeur.

Les mêmes remarques peuvent être apportées pour le point 1148ZZ0005/F (Kancel) (Annexe 2- Illustration 6). En effet, selon le test de Mann-Kendall, l'augmentation est de 0,7 mg/L/an. Ce type d'augmentation ne pose pas de problème majeur d'autant plus que les concentrations sont éloignées de la valeur seuil.

L'augmentation de la concentration en chlorures, calculée de manière statistique, ne semble pas être une problématique à l'échelle de la masse d'eau. Toutefois, le point 1135ZZ0069/S (Captage AEP Charropin) semble être affecté à l'heure actuelle.

### ***Fluor***

L'étude précédente a montré que la *Mma* du fluor dépasse la norme pour le site DCE 1135ZZ0069/S (Charropin) (Annexe 2- Illustration 7). Etant donné le peu de prélèvements disponibles, aucune régression n'a pu être calculée. La *Mma* dépasse la norme à cause d'une valeur extrême enregistrée dans la base de données et correspondant à une erreur de saisie (de l'unité sans doute).

Le point d'eau 1141ZZ0016/P (Blanchard) (Annexe 2- Illustration 8) montre une augmentation de la concentration en fluor, calculée par le test de Mann-Kendall. Néanmoins seuls 58% des points ont des mesures supérieures au seuil de détection. De plus, l'augmentation n'est que de  $3,3 \times 10^{-3}$  mg/L par an sur 10 ans.

Les mêmes remarques peuvent être faites pour le point d'eau 1140ZZ0001/CH1 (Chazeau) (Annexe 2- Illustration 9). L'augmentation a aussi été calculée selon le test de Mann-Kendall car c'était le seul test applicable. Seuls 61,9% des points ont des valeurs au-dessus de la limite de détection. L'augmentation n'est que de  $5,5 \times 10^{-3}$  mg/L par an et les valeurs déjà mesurées sont éloignées de la valeur seuil.

### ***Sodium***

Un dépassement avait été relevé dans le rapport de Ducreux et al., 2013 sur le site non DCE 1150ZZ0034/FORAGE (Celcourt) pour le sodium. Néanmoins, une seule valeur est disponible pour ce site, il n'est pas possible de réaliser un calcul de tendances.

Une augmentation a été détectée par l'outil en utilisant le test de Mann-Kendall pour le sodium pour le point d'eau 1141ZZ0015/F (Marchand) (Annexe 2- Illustration 10). Néanmoins, l'augmentation n'est que de 1,5 mg /L par an et la valeur maximale d'environ 55 mg/L.

A l'inverse, le point d'eau 1141ZZ0019/P (Duchassaing) est plus préoccupant du point de vue de la concentration en sodium (Annexe 2- Illustration 11). En effet, l'outil a calculé une tendance à la hausse à la fois en utilisant un test de Mann-Kendall et en utilisant une régression linéaire. De même une augmentation est calculée par

différence de moyenne. Dans les deux cas, dans celui du test de Mann-Kendall et celui de la régression linéaire, l'augmentation est d'environ 2 mg/L par an. La différence avec le point d'eau étudié précédemment est que la concentration maximale relevée est de 120 mg/L.

D'un point de vue statistique, un seul point montre une augmentation et une concentration forte pour ce paramètre.

### **Nitrates**

Pour le point d'eau 1141ZZ0019/P (Duchassaing) (Annexe 2- Illustration 12), en ce qui concerne les nitrates, l'outil a calculé une tendance à la hausse en utilisant à la fois un test de Mann-Kendall et une régression linéaire. De même une augmentation est calculée par différence de moyenne. Dans le cas du test de Mann-Kendall et celui de la régression linéaire, l'augmentation est comprise entre 1,5 et 2 mg/L par an. Cette tendance peut être jugée importante car la concentration au point d'eau est proche de 30 mg/L. De plus les conditions Redox du site permettent de manière temporelle une diminution des concentrations en nitrates.

L'outil a aussi calculé une tendance à la hausse en utilisant à la fois un test de Mann-Kendall et une régression linéaire pour le point 1148ZZ0005/F (Kancel) (Annexe 2- Illustration 13). De même, une augmentation est calculée par différence de moyenne. Pour ce point, l'augmentation calculée par le test de Mann-Kendall et la régression linéaire est inférieure à 1 mg/L/an. De plus, la concentration actuelle est inférieure à 10 mg/L.

### **Sulfates**

Pour le point d'eau 1140ZZ0001/CH1 (Chazeau) (Annexe 2- Illustration 14), en ce qui concerne les sulfates, l'outil a calculé une tendance à la hausse en utilisant un test de Mann-Kendall. Cette augmentation n'est que de  $7,3 \times 10^{-2}$  mg/L par an. La concentration moyenne de cette chronique est d'environ 7 mg/L, elle ne présente pas de risque d'atteindre la norme (200 mg/L) bien que présentant une tendance à la hausse.

Pratiquement les mêmes remarques peuvent être faites pour le point 1148ZZ0005/F (Kancel). En effet, la concentration moyenne est de 12 mg/L et l'augmentation est, selon le test de Mann-Kendall, de 0,3 mg/L par an.

Bien que des augmentations significatives d'un point de vue statistique aient été calculées, l'augmentation de la concentration en sulfates n'est sans doute pas significative d'un point de vue environnemental.

### **Produits phytosanitaires**

Les produits phytosanitaires sont mesurés dans tous les points d'eau de la masse d'eau et aucune substance n'est problématique du point de vue dépassement de norme et tendances d'évolution. La déséthylatrazine montrait une hausse jusqu'en 2009 dans le point d'eau 1135ZZ0069/S (Charropin) s'approchant de la norme (0,1

$\mu\text{g/L}$  ; mais depuis cette date la concentration ne cesse de baisser et les dernières analyses sont proches de  $0,04 \mu\text{g/L}$  (Annexe 2- Illustration 15).

A l'exception du glyphosate qui est actuellement le produit le plus utilisé en Guadeloupe (Illustration 27), les autres substances actives les plus importées (glyphosate, asulame, 2,4-D, gluphosinate, cadusafos) ne sont pas à l'origine de dépassements sur l'ensemble des chroniques ici prises en compte ; aucune tendance n'a également été relevée.

Deux dépassements ont ainsi été mis en évidence pour le glyphosate (une fois sur le point Duchassaing - 1141ZZ0019/P et une fois pour le point Kancel - 1148ZZ0005/F). Depuis 2009, la limite de quantification pour cette substance a été abaissée (exemple point 1141ZZ0019/P, Annexe 2- Illustration 16).

#### **b) FRIG002 - Calcaires de Marie-Galante**

##### ***Manganèse***

Un dépassement avait été relevé dans le rapport précédent « Etat des MESO » pour le manganèse sur le site DCE 1160ZZ0027/S (Vangout) (Annexe 2- Illustration 17). Aucune tendance n'est décelée par l'outil. La chronique est constituée par plusieurs points de concentration élevée, supérieure à la norme. Il est difficile de se prononcer sur ce site car bien qu'aucune tendance à la hausse ne soit calculée, de fortes concentrations y sont souvent mesurées. Cette chronique laisse à penser que ce site peut être souvent source de déclassement de la masse d'eau à cause du paramètre manganèse. L'étude « fond géochimique » apportera des éléments de réponse pour l'origine de ce dépassement.

##### ***Turbidité***

Un dépassement de la *Mma* avait été relevé pour le paramètre Turbidité (Formazine Néphélosométrique) sur le site DCE 1160ZZ0027/S (Vangout) (Annexe 2- Illustration 18). Aucune tendance n'est décelée par l'outil sur cette chronique. Il est difficile de se prononcer sur ce paramètre car bien que la chronique ne soit pas à la hausse, elle contient quelques valeurs élevées et rien ne permet d'affirmer que d'autres valeurs comparables ne vont pas être mesurées. Cela serait d'ailleurs cohérent pour la turbidité en système karstique. D'autre part la turbidité peut également être liée à la présence de manganèse dans ces eaux. Des augmentations ponctuelles sont aussi observables sur le point d'eau 1161ZZ0001/F (Pont des Balisiers) (Annexe 2- Illustration 19) et sur le point d'eau 1163ZZ0007/F (Rabi) (une seule valeur à 1,68 NFU et une moyenne des autres valeurs à 0,21 NFU).

Il est tout à fait possible que la turbidité soit à nouveau un paramètre déclassant pour cette masse d'eau dans le cadre du calcul *Mma*, la turbidité augmentant dans certaines conditions en milieu karstique. Le lien avec les fortes concentrations en manganèse doit également être fait.

### **Sodium**

L'outil a calculé une tendance à la hausse pour le sodium à la fois en utilisant un test de Mann-Kendall et une régression linéaire pour le point 1160ZZ0030/FORAGE (Mouessant) (Annexe 2- Illustration 20). De même, une augmentation est calculée par différence de moyenne. Pour ce point, l'augmentation calculée par le test de Mann-Kendall et la régression linéaire est proche de 0,3 mg/L par an. De plus, la concentration moyenne actuelle est inférieure à 40 mg/L.

Aucun autre point n'est affecté par une hausse dans la masse d'eau, le sodium n'est pas un paramètre préoccupant pour cette masse d'eau.

### **Sulfates**

L'outil a détecté une tendance à la hausse pour les sulfates en utilisant un test de Mann-Kendall et une régression linéaire pour le point 1160ZZ0030/FORAGE (Mouessant) (Annexe 2- Illustration 21). De plus, une augmentation est calculée par différence de moyenne. Pour ce point, l'augmentation calculée par le test de Mann-Kendall et la régression linéaire est comprise entre 1,5 mg/L et 2,0 mg/L par an. La concentration moyenne calculée sur la période actuelle est de 10,5 mg/L, ce qui est très inférieur à la valeur seuil qui est pour l'instant fixée pour ce paramètre à 250 mg/L.

Pour le point 1161ZZ0002/F (Etang Noir) (Annexe 2- Illustration 22), un test de Mann-Kendall et une régression linéaire ont été effectués. Dans les deux cas, aucune tendance significative n'a été détectée. Une rupture par changement de moyenne a, en revanche, été identifiée en 2002. Avant cette date, la moyenne est de 10,5 mg/L, après cette date la moyenne est de 12 mg/L. L'augmentation est relativement faible surtout en comparaison de la valeur seuil (250 mg/L).

Une augmentation a été calculée par l'outil pour un dernier point d'eau pour cette masse d'eau, il s'agit du point 1161ZZ0009/F (Calebassier) (Annexe 2- Illustration 23). La tendance à la hausse a été détectée avec un test de Mann-Kendall et une régression linéaire. La valeur de l'augmentation calculée est de 0,2 mg/L/an avec ces deux tests, ce qui est modéré.

Du point de vue statistique, les "sulfates" ne sont pas un paramètre qui pourrait devenir déclassant dans un avenir proche si les pratiques et les conditions hydrologiques actuelles perdurent.

### **Fluor**

Pour le point 1161ZZ0001/F (Ponts des Balisiers) (Annexe 2- Illustration 24), seul un test de Mann-Kendall a été effectué. Pour ce point, la tendance à la hausse calculée est d'environ  $8 \times 10^{-3}$  mg/L. En prenant en compte cette faible augmentation et la concentration moyenne initiale relativement faible (environ 0,1 mg/L) au regard de la valeur seuil (1,5 mg/L), ce point d'eau ne sera pas problématique d'un point de vue statistique, même si les conditions extérieures sont inchangées.

Il est plus difficile de se prononcer pour le point 1161ZZ0009/FORAGE (Calebassier) (Annexe 2- Illustration 25). Pour ce point, l'augmentation, calculée seulement par un test de Kendall, est d'environ  $4,5 \times 10^{-2}$  mg/L. En prenant en compte l'augmentation et la concentration initiale (environ 0,6 mg/L en 2010/2011) on peut estimer que cet élément ne posera pas de problème d'un point de vue qualitatif.

Une tendance à la hausse a été calculée pour le point d'eau 1163ZZ0007/F (Rabi) (Annexe 2- Illustration 26). Cette tendance a été détectée seulement avec un test de Mann-Kendall. La valeur de l'augmentation calculée est de  $1 \times 10^{-2}$  mg/L/an, ce qui est très faible. Compte tenu de la valeur moyenne de ces dernières années (environ 0,1 mg/L dont certaines analyses sous la limite de détection), ce point ne semble pas être problématique à court terme.

### **Nitrates**

Une tendance à la hausse statistiquement significative a été calculée pour le point 1161ZZ0009/FORAGE (Calebassier) (Annexe 2- Illustration 27) en ce qui concerne le paramètre "nitrates". Cette tendance à la hausse n'a été détectée que par le test de Mann-Kendall. L'augmentation calculée est de 0,15 mg/L/an. En prenant en compte cette augmentation et la concentration moyenne de départ (environ 8 mg/L), ce point ne semble pas devenir problématique d'un point de vue statistique dans un avenir proche d'autant plus que des processus de dénitrification semblent en partie responsables de la variation des concentrations.

### **Chlorures**

Une augmentation a été détectée pour le point 1161ZZ0009/FORAGE (Calebassier) pour les chlorures (Annexe 2- Illustration 28). Une rupture par changement de moyenne (Buishand) a, été identifiée en 2003. Avant cette date, la moyenne est de 85,6 mg/L, après cette date, la moyenne est de 94,4 mg/L. L'augmentation est relativement faible surtout en comparaison de la valeur seuil (250 mg/L).

### **Produits phytosanitaires**

La Mma du glyphosate a été calculée en dépassement sur le point DCE 1160ZZ0011/F (Source 2) (Annexe 2- Illustration 29) dans le cadre du rapport « Etat des MESO ». La chronique n'est en fait constituée que d'un seul point au-dessus de la limite de quantification, les autres étant sous la limite (taux de quantification : 7,7%). Aucune tendance calculée par l'outil n'a de signification environnementale. En avril 2007, une concentration anormalement élevée a aussi été mesurée en diuron pour ce point (Annexe 2- Illustration 30). Le point est à surveiller du fait de ces concentrations de 0,3 µg ou de 1 µg observées de manière ponctuelle. Le glyphosate et le diuron ont été analysés dans tous les autres points d'eau de la masse d'eau, ils n'ont jamais été détectés (toutes les analyses sont sous la limite de quantification).

Sur les produits actuellement les plus vendus (glyphosate, asulame, 2,4-D, gluphosinate, cadusafos) aucun dépassement ou tendance n'a été relevé. Il en va de même pour leurs produits de dégradations.

En ce qui concerne les produits qui ne sont plus commercialisés (l'atrazine ou le chlordécone), aucun dépassement ou tendance n'a été détecté.

**c) *FRIG003 - Edifices volcaniques du Sud de Basse-Terre***

***Cuivre***

Un dépassement avait été relevé lors du rapport précédent sur le site non DCE 1159ZZ0048/SOURCE (source Soldat) (Annexe 2- Illustration 31) pour le cuivre. Cette chronique a un taux de quantification qui n'est que de 10% et il n'est pas possible d'interpréter un calcul de tendance. Comme signalé dans le rapport précédent, les valeurs les plus élevées sont dues à des erreurs de saisie (unités sans doute). Le dépassement de la valeur seuil lors du calcul de la *Mma* est essentiellement dû à ces valeurs.

D'autres points présentent des valeurs extrêmes et peu réalistes en ce qui concerne le cuivre (1156ZZ0037/SOURCE Rudelette Nord, 1158ZZ0125/SOURCE Belle-Terre) mais le point 1159ZZ0048/SOURCE est le seul qui n'a pas un taux de quantification égal à 0. Le cuivre ne semble pas être un élément pouvant être déclassant.

***Sulfates***

Pour le point 1156ZZ0040/SOURCE (les Balisiers), seule une régression a pu être effectuée, la chronique ne disposait pas de suffisamment de données pour réaliser un test de Mann-Kendall (Annexe 2- Illustration 32). L'augmentation attribuée par la régression linéaire est 16 mg/L par an ce qui est relativement élevé d'autant que la dernière valeur mesurée sur ce point est 90 mg/L (février 2012). En utilisant ces caractéristiques statistiques, la valeur seuil peut être atteinte en 10 ans. Il faut néanmoins relativiser ces données car la chronique ne contient que 5 données.

L'outil a aussi calculé une tendance à la hausse en utilisant à la fois un test de Mann-Kendall et une régression linéaire pour le point 1159ZZ0048/SOURCE (Source Soldat) (Annexe 2- Illustration 33). De même, une rupture par changement de moyenne a été identifiée en 2010 (augmentation de 1,4 mg/L de moyenne). Pour ce point, l'augmentation calculée par le test de Mann-Kendall et la régression linéaire est proche de 0,46 mg/L par an. La concentration actuelle est inférieure à 10 mg/L. D'un point de vue statistique, ce point ne devrait pas être problématique du point de vue des sulfates dans un avenir proche.

Le point 1156ZZ0040/SOURCE (les Balisiers) est à surveiller car les sulfates sont en augmentation forte et peuvent devenir un paramètre déclassant. Néanmoins, il n'est pas facile de vraiment se prononcer compte tenu du faible nombre de données. Le point 1156ZZ0040/SOURCE est le seul point d'eau à surveiller en ce qui concerne les sulfates, les autres points présentent des concentrations éloignées des valeurs seuils (250 mg/L). Certains points présentent des tendances à la baisse.

## **Conductivité**

Pour le point 1156ZZ0040/SOURCE (les Balisiers) (Annexe 2- Illustration 34), seule une régression linéaire a été proposée par l'outil. L'augmentation calculée par la régression est de 38 µS/cm par an. La dernière analyse a été effectuée en 2012 et le résultat était proche de 250 µS/cm. Comme précisé précédemment pour ce même site, il faut relativiser ces résultats car la chronique ne contient que 5 données.

Bien qu'une augmentation significative d'un point de vue statistique ait été calculée, l'augmentation de la conductivité n'est pas à envisager comme une problématique à l'échelle de la masse d'eau à court terme.

## **Produits phytosanitaires**

Sur les produits actuellement les plus vendus (glyphosate, asulame, 2,4-D, gluphosinate, cadusafos) aucun dépassement ou tendance n'a été relevé.

Le rapport précédent (Ducreux et al., 2013) rapporte pour le métolachlore une *Mma* supérieure à la valeur seuil pour le point d'eau 1159ZZ0027/SOURCE (la Plaine) (Annexe 2- Illustration 35). Cette moyenne élevée n'est en fait constituée que d'un seul point au-dessus de la limite de quantification, les autres étant sous la limite (taux de quantification : 8,3%). Aucune tendance calculée par l'outil sur cette chronique n'a de sens, de même que la *Mma*. Le point est néanmoins à surveiller car il est anormal qu'une concentration si importante de produits phytosanitaires (0,6 µg/L), même de manière ponctuelle, puisse être observée.

Le métolachlore n'est cependant pas la problématique principale de la masse d'eau. En effet, la chlordécone et le lindane ont des concentrations qui sont souvent mesurées au-dessus de la valeur seuil (0,1 µg/L). Par exemple, pour le point 1159ZZ0048/SOURCE (Soldat) (Annexe 2- Illustration 36), les valeurs mesurées pour la chlordécone sont plusieurs fois supérieures à la valeur seuil et aucune tendance à la baisse n'est observée. Il en va de même pour les points 1158ZZ0125/SOURCE (Belle-Terre), 1159ZZ0027/SOURCE (la Plaine) et dans une moindre mesure le point 1157ZZ0017/SOURCE (Marquisat).

Toutefois, les pesticides de type organochlorés (chlordécone et lindane) sont interdits d'utilisation en Guadeloupe depuis les années 90. Leur présence dans les eaux souterraines résulte de leur forte rémanence et mobilité dans l'environnement.

En ce qui concerne l'atrazine et ses métabolites, aucun dépassement ou tendance n'a été détecté.

## **d) FRIG004 - Ensemble volcanique et sédimentaire de la Désirade**

### **Chlorure**

Entre 2008 et 2010, 6 analyses ont été réalisées pour les chlorures sur le point d'eau DCE 1143ZZ0032/PUITS (Pioche), soit 2 par an (Annexe 2- Illustration 37). Ces

analyses donnent une *Mma* de plus de 251 mg/L qui est supérieure à la norme (250 mg/L). Aucune tendance, n'est détectée pour cet élément sur ce point d'eau. Les concentrations sont très fortement variables dans le temps (entre 100 et 400 mg/L).

La ressource en eau souterraine de la Désirade n'est pas exploitée actuellement. Les teneurs en chlorures reflètent un fond géochimique en NaCl naturellement élevé (influence des eaux marines) (Brenot A. et al. 2008).

### **Sodium**

Un dépassement de *Mma* vis-à-vis de la valeur seuil a aussi été relevé pour le sodium sur ce site (1143ZZ0032/PUITS) (Pioche). De même que pour les chlorures, 6 analyses ont été réalisées entre 2008 et 2010. La *Mma* calculée est de 205 mg/L alors que la norme est de 200 mg/L. Tout comme le chlorure, aucune tendance, n'est détectée pour le sodium (Annexe 2- Illustration 38). Les concentrations mesurées sont également variables.

A l'instar du chlorure, ces teneurs élevées sont liées au fond géochimique.

### **Conductivité**

La *Mma* de la conductivité calculée est au-dessus de la valeur seuil sur le point d'eau DCE 1143ZZ0032/PUITS (Pioche). Aucune tendance n'a été détectée (Annexe 2- Illustration 39) mais seules 6 analyses sont disponibles. Pratiquement toutes les analyses présentent des concentrations supérieures à la valeur seuil (1100 µS/cm). Pour ce point, les concentrations sont élevées et aucune tendance n'est détectée.

La variabilité de la conductivité est fortement liée à celle des ions chlorures et sodium. Le point d'eau 1143ZZ0032/PUITS fait par ailleurs l'objet d'une surveillance dans le cadre du réseau piézométrique du bassin Guadeloupe.

### **Turbidité**

La *Mma* dépasse la valeur seuil pour le paramètre turbidité (Formazine Néphélométrique) sur le point 1143ZZ0032/PUITS (pioche). Aucune tendance n'est décelée par l'outil sur cette chronique (Annexe 2- Illustration 40). La chronique contient plusieurs valeurs élevées. Cela est cohérent avec le comportement de la turbidité en système karstique. Cette turbidité peut également être liée à la présence de fer ou manganèse.

Ainsi, il est tout à fait possible que la turbidité soit à nouveau un paramètre déclassant pour ce point dans le cadre du calcul de la *Mma* puisque des valeurs élevées peuvent apparaître. A court terme, l'étude du fond géochimique pourra apporter des éléments sur l'origine de la turbidité.

### ***Produits phytosanitaires***

Pour les produits actuellement les plus vendus (glyphosate, asulame, 2,4-D, gluphosinate, cadusafos) aucun dépassement ou tendance n'a été relevé.

De même, pour les anciens produits n'étant plus en vente actuellement (atrazine, lindane, chlordécone) aucun dépassement ou tendance n'a été identifié.

Le peu d'impact des produits phytosanitaires sur les eaux souterraines de cette masse d'eau s'explique par le fait de pratiques agricoles restreintes à l'échelle de cette île.

### **e) *FRIG006 - Edifices volcaniques du Nord de Basse-Terre***

#### ***Aluminium***

La *Mma* du point d'eau DCE 1144ZZ0005/SOURCE (Beaujean-les-Plaines) présente un dépassement de la valeur seuil pour l'aluminium. En effet, la *Mma* calculée est de 212 µg/L tandis que la valeur seuil est de 200 µg/L. Le phénomène est particulier sur ce site car les concentrations varient entre des valeurs faibles et des valeurs très élevées (>1500 µg/L). Aucune tendance ne peut être détectée (Annexe 2- Illustration 41).

L'analyse de la fréquence d'apparition de ces valeurs élevées ne semble pas montrer une augmentation tendancielle sur ce site. Néanmoins, peu de données sont disponibles et il est difficile de se prononcer avec certitude.

#### ***Turbidité***

Des dépassements ont été détectés pour la turbidité (Formazine Néphélométrique) pour le point 1152ZZ0040/SOURCE (Barlagne) et 1144ZZ0005/SOURCE (Beaujean-les-Plaines) (Annexe 2- Illustration 42). Pour les deux points d'eau, des valeurs élevées (jusqu'à 10 NFU) alternent avec des valeurs plus moyennes (0,6 NFU) en comparaison avec la valeur seuil (1 NFU). Aucune tendance ne peut être détectée.

Comme pour les autres points d'eau, il est tout à fait possible que la turbidité soit à nouveau un paramètre déclassant pour ce point dans le cadre du calcul de la *Mma* car des valeurs élevées peuvent rapidement apparaître. Aucune tendance n'est détectable.

### ***Produits phytosanitaires***

Sur les produits actuellement les plus vendus (glyphosate, asulame, 2,4-D, gluphosinate, cadusafos...) aucun dépassement ou tendance n'a été relevé.

De même, pour les anciens produits n'étant plus en vente actuellement (atrazine, lindane, chlordécone) aucun dépassement ou tendance n'a été identifié. Les pesticides organochlorés (chlordécone, lindane) ont majoritairement été utilisés, à l'échelle du croissant bananier, localisé dans la partie sud de l'île de Basse-Terre.

## **3.2. SIMULATION D'EXPLOITATION A PARTIR DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DE GRANDE-TERRE**

### **3.2.1. Contexte et données disponibles**

Ce chapitre présente les résultats des simulations d'exploitation (2 scénarios) menées à partir du modèle hydrodynamique de Grande-Terre (Bézèlques et al., 2006 ; Hamm et al., 2007).

Les scénarios modélisés sont basés sur les actions visant au renforcement et la sécurisation de la ressource pour l'Alimentation en Eau Potable proposés dans le SDMEA (Schéma Directeur Mixte Eau et Assainissement, 2011) de l'Office de l'Eau Guadeloupe. La synthèse de ces actions est fournie sur Illustration 28.

En plus des forages AEP existants, 25 forages sont programmés en Grande-Terre (GT), d'ici 2015, dans le cadre de ce SDMEA. Ces nouveaux projets de forages sont répartis comme suit :

- Champ captant Nord GT, localisé dans la plaine de Grippon, composé de 8 forages pour un volume total espéré de 4,1 Mm<sup>3</sup>/an ;
- Champ captant Sud GT, localisé sur la retombée ouest des Grands Fonds, composé de 9 forages pour un volume total de 4,2 Mm<sup>3</sup>/an ;
- Champ captant localisé sur la retombée est des Grands Fonds, constitué de 3 forages pour un volume potentiel de 1,5 Mm<sup>3</sup>/an ;
- 5 forages supplémentaires de 60 m<sup>3</sup>/h et de 50 m de profondeur (non localisés) pour assurer une autonomie d'une journée pour un volume total d'environ 2,2 Mm<sup>3</sup>/an.

Des reconnaissances hydrogéologiques sont actuellement en cours à l'échelle de certains secteurs de la Grande-Terre dans l'objectif d'accroître l'exploitation des eaux souterraines de La Grande-Terre et de sécuriser l'approvisionnement en eau à l'échelle du territoire. Les investigations concernent les territoires de Cap excellence<sup>2</sup> (commune Point-à-Pitre et Abymes) et du SIAEAG<sup>3</sup> (Gosier - partie urbaine, Sainte-Anne, Saint-François et Moule) respectivement.

---

<sup>2</sup> La communauté d'agglomération des territoires des Abymes, de Pointe-à-Pitre et plus récemment de Baie-Mahault, créée le 30 décembre 2008 sous le nom de Cap Excellence, a repris les compétences du SIEPA (Syndicat Intercommunal des Eaux de Pointe-à-Pitre et des Abymes) en matière d'eau et d'assainissement.

<sup>3</sup> Créé le 26 avril 1963, le SIAEAG (Syndicat Intercommunal d'Alimentation en Eau et d'Assainissement de la Guadeloupe) acquiert sa dénomination actuelle en 1977. Ce Syndicat assure le Service Public de l'eau potable pour 11 communes depuis sa création et le Service Public d'assainissement collectif à partir de 1973

A la demande de l'Office de l'Eau, en tenant compte des résultats préliminaires de ces études réalisées par le BRGM, les emplacements hypothétiques des futurs forages ont été pris en compte ici. Il est impossible à l'heure actuelle de localiser précisément ces sites d'implantations, notamment en raison des contraintes du foncier. Toutefois, les emplacements proposés sont donnés au droit de sites hydrogéologiques « favorables » à l'exploitation de l'eau souterraine (prise en compte de la géologie, piézométrie, caractéristiques hydrodynamiques, vulnérabilité globale de la nappe, risque d'intrusion saline). Relativement aux actions du SDMEA, ces sites correspondent au Champ captant Sud GT (retombée ouest des Grands Fond) ainsi qu'aux forages non localisés des plateaux de l'est.

De telles études n'existent pas à l'heure actuelle pour les autres secteurs (Plaine de Gripon et retombée sud des Grands-Fonds). Par conséquent, la localisation des futurs captages est faite de manière homogène à l'échelle de ces zones.

L'Illustration 29 et le Tableau 33 donnent l'emplacement hypothétique des 25 nouveaux captages correspondants, numérotés de 0 à 24 dans ce rapport.



*Illustration 28 : Synthèse des actions pour le développement des ESO sur le secteur de Grande-terre proposé dans le SDMEA de l'Office de l'eau Guadeloupe, Volet Ressource – Phase 3*

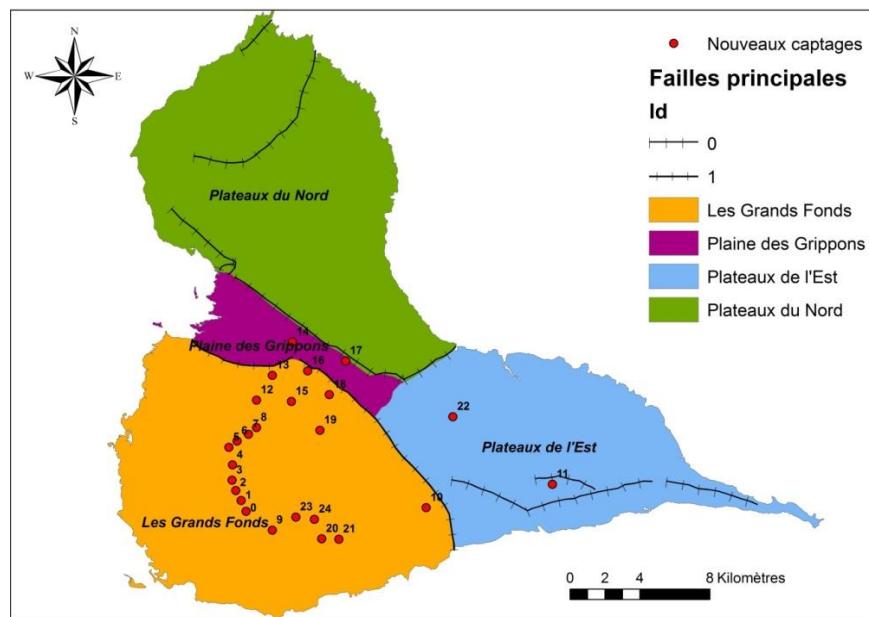


Illustration 29 : Localisation des 25 nouveaux forages prévus dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe (secteurs Nord Grande-Terre, Cap-Excellence et du SIAEAG)

N°	X_WGS84	Y_WGS84	Secteur d'implantation	Année de réalisation
0	662363	1797481	Retombée Ouest des Grands Fonds (Ouest GT)	2013-2015
1	662078	1798102		
2	661768	1798672		
3	661560	1799267		
4	661586	1800147		
5	661379	1801156		
6	661845	1801519		
7	662492	1801907		
8	662958	1802295	Retombée Est des Grands Fonds (Sud GT)	2014-2016
10	672665	1797688		
11	679886	1799034		
22	674192	1802917	Plaine de Gripon (Nord GT)	2012-2014
12	662958	1803874		
13	663864	1805298		
14	665003	1807213		

<b>15</b>	664951	1803797		
<b>16</b>	665883	1805557		
<b>17</b>	668057	1806126		
<b>18</b>	667126	1804185		
<b>19</b>	666582	1802140		
<b>9</b>	663864	1796394	Plateaux de l'Est  (Est GT)	2011-2015
<b>20</b>	666685	1795902		
<b>21</b>	667669	1795876		
<b>23</b>	665210	1797144		
<b>24</b>	666271	1797015		

Tableau 33 : Coordonnées WGS84 en mètres des 25 nouveaux forages prévus dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe et numérotation utilisée dans ce rapport. Précisons que l'emplacement exact des nouveaux forages n'est pas défini à l'heure de rédaction de ce rapport. Les coordonnées affichées sont donc prévisionnelles.

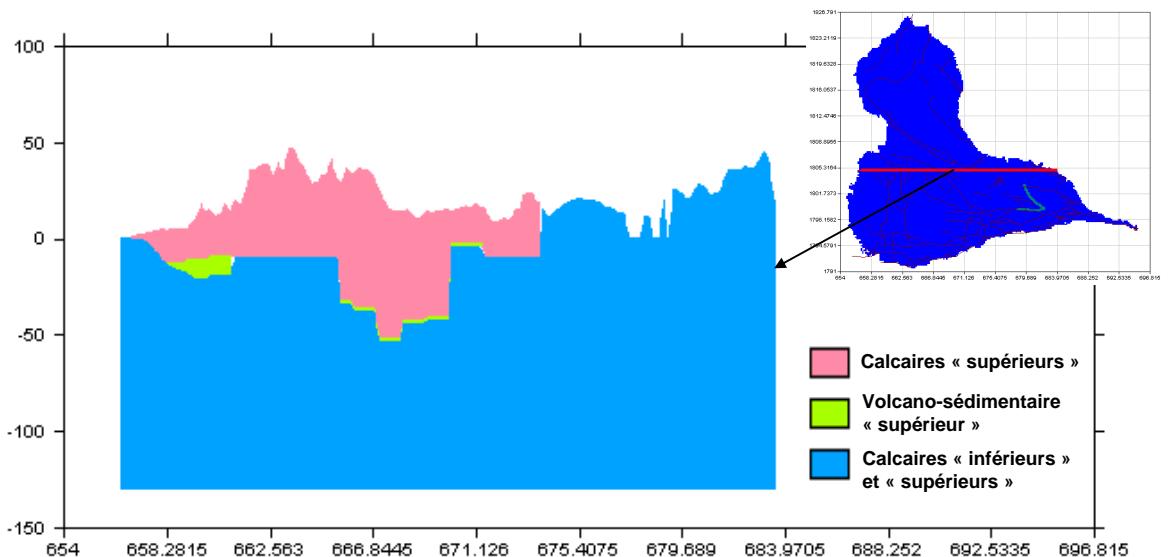
### 3.2.2. Le modèle hydrodynamique de Grande-Terre : rappels

Pour répondre à un besoin de visualisation dynamique de l'état quantitatif et qualitatif de la nappe tenant compte des différents usages existants et/ou projetés, la DEAL et le Conseil Régional de Guadeloupe ont demandé au BRGM d'élaborer un modèle hydrodynamique des écoulements souterrains de Grande-Terre incluant la problématique du biseau salé (Bézèlques et al., 2006 ; Hamm et al., 2007).

Sur la base de la collecte, l'analyse et la préparation de données hydrogéologiques existantes pour l'île de Grande-Terre, un modèle a été construit et calé en régime transitoire et en mode diphasique (prise en compte de l'existence d'une interface eau douce – eau salée mobile).

Le modèle réalisé (Illustration 30) est un modèle à mailles carrées de taille identique (20355 mailles de 200 m de côté) tridimensionnel avec prise en compte du biseau salé. Il a été construit avec le code de calcul aux volumes finis MARTHE du BRGM (RR-32210-FR, Thiery 1991).

Le modèle est calé sur une période de 20 ans (1985-2005) sur un réseau de 51 points d'eau de référence dont 46 ont une chronique suffisamment longue et représentative du comportement de la nappe pour permettre le calage du modèle. Les calculs hydrodynamiques (calcul de la charge hydraulique dans chaque maille de la grille) sont réalisés au pas mensuel. Les calculs des bilans hydro-climatiques (calcul de la recharge de la nappe) sont faits au pas journalier.



*Illustration 30 : Exemple de profil vertical ouest-est du modèle (Hamm et al., 2007)*

Les résultats du calage des charges au pas de temps mensuel sont cohérents sur l'ensemble des points de contrôle où l'on dispose de chroniques. Le modèle permet :

- de restituer le fonctionnement de la nappe d'eau douce en équilibre avec l'eau salée environnante au cours du temps,
- de mettre en relief des différences de comportement de l'interface selon les secteurs de l'île,
- d'établir des bilans quantitatifs des échanges existants entre les différentes sous unités du système aquifère de Grande-Terre.

Néanmoins, il est important de rappeler que ce modèle a été construit sur la base des données disponibles dont la précision n'a pas toujours été idéale. Les limites de ce modèle reposent en ordre d'importance décroissante sur:

- la position de l'interface eau douce – eau salée : paramètre absolument déterminant pour la gestion de la ressource,
- la quantification des prélèvements notamment agricoles et industriels qui sont mal connus à ce jour et probablement sous-estimés dans le modèle,
- la piézométrie de la Plaine des Abymes qui ne fait l'objet d'aucun suivi actuellement,
- le rôle de la karstification dans les écoulements souterrains qui n'a jamais fait l'objet d'études et qui n'est pas connu,
- la géométrie et la localisation du substratum de l'aquifère qui n'est pas connue.

### 3.2.3. Bilans hydrodynamiques calculés par le modèle GT

L'île de Grande-Terre correspond à une plate-forme carbonatée d'âge Plio-Pléistocène débitée en compartiments morpho-structuraux décalés les uns par rapport aux autres et basculés du fait du jeu d'un important réseau de fractures : les Grands-Fonds (GF), la Plaine de Gripon (PdG), les Plateaux du Nord (PdN) et des Plateaux de l'Est (PdE) (cf. Illustration 31).

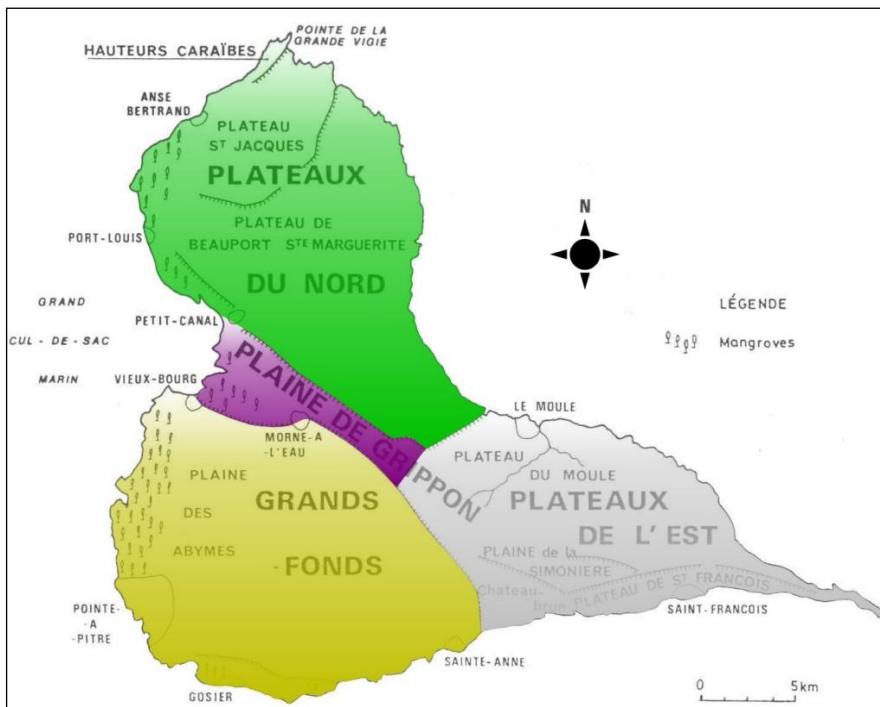


Illustration 31 : Découpage morphostructural de Grande-Terre (Bézèlges et al., 2006)

L'ensemble structural des **Grands-Fonds** est limité au sud et à l'ouest par la mer, au nord et à l'est par des accidents majeurs (Illustration 31). Il est surélevé par rapport au reste de l'île et présente un pendage vers l'ouest. Ces particularités ont deux conséquences hydrogéologiques :

- la nappe principale est contenue dans les calcaires inférieurs,
- le pendage des formations, et notamment du niveau volcano-sédimentaire supérieur, provoque la mise en charge de la nappe vers l'ouest, au niveau de la Plaine des Abymes.

La tranche d'eau douce est particulièrement épaisse dans ce secteur et l'analyse des fluctuations des bilans d'eau (Illustration 32 et Illustration 33) montre que :

- La limite à potentiel imposé sur le pourtour littoral sud-ouest draine l'aquifère en permanence avec un débit moyen de 4800 m<sup>3</sup>/h ;

- Les débordements par les rivières sont faibles par rapport aux autres composantes et compris entre 0 et 850 m<sup>3</sup>/h ;
- Les prélevements sont compris entre 180 et 330 m<sup>3</sup>/h, avec une tendance à la baisse au début puis stabilisés entre 200 et 275 m<sup>3</sup>/h les dernières années ;
- La recharge de la nappe est forte sur la zone, avec des pics de débit compris entre 5000 et 50000 m<sup>3</sup>/h, néanmoins entrecoupés de périodes de sécheresse pouvant dépasser 1 année (entre avril 1997 et juillet 1998) ;
- Le stockage ou déstockage d'eau de l'aquifère est parfaitement corrélé aux débits de recharge, les périodes de recharge importante correspondent à des périodes de stockage d'eau dans l'aquifère et inversement les périodes de faible recharge correspondent à une restitution d'eau par l'aquifère.

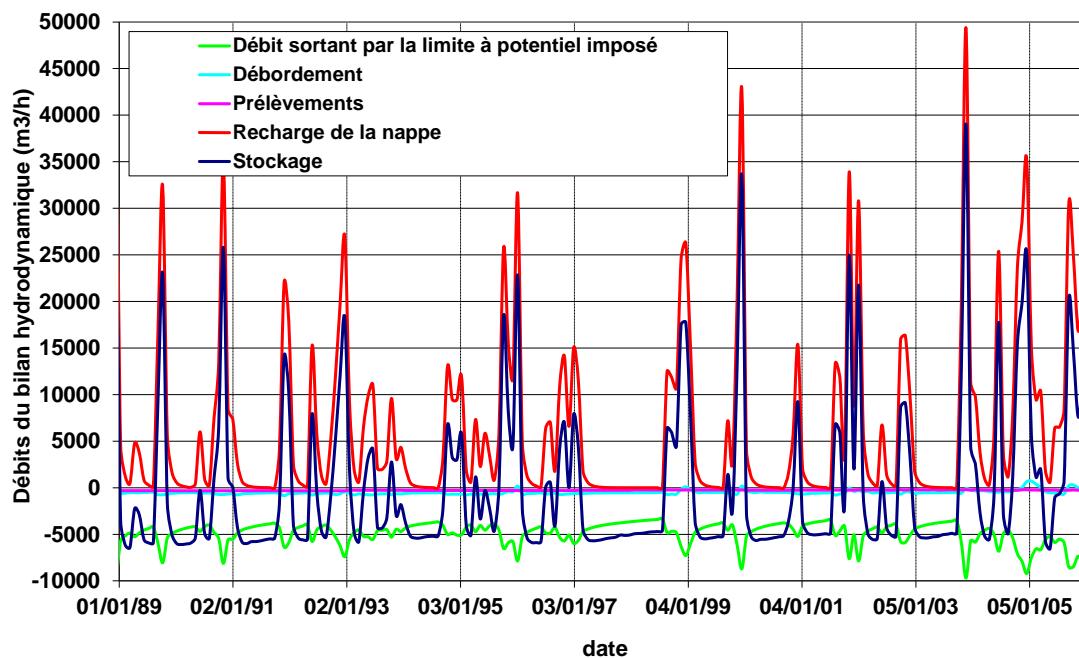


Illustration 32 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur des Grands-Fonds (m<sup>3</sup>/h)

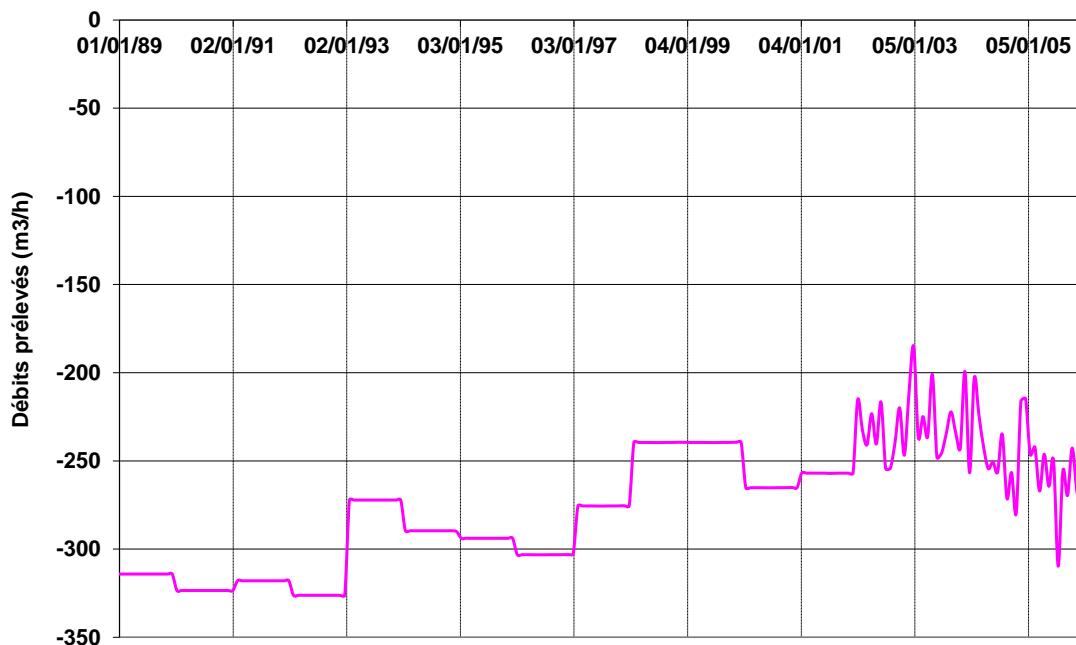


Illustration 33 : Fluctuations des prélèvements dans le secteur des Grands-Fonds ( $m^3/h$ )

Le Tableau 34 présente un résumé en mm/an de ces bilans sur trois années types : 1997 (sèche), 2002 (moyenne) et 2004 (humide).

Zone des Grands Fonds surface = 213km <sup>2</sup>	Débits sortants par la limite à potentiel imposé (mm/an)	Prélèvements (mm/an)	Recharge (mm/an)	Débordement (mm/an)	Stockage (mm/an)
année sèche - 1997	-172	-11	50	-23	-185
année moyenne - 2002	-206	-10	310	-20	43
année humide - 2004	-242	-10	502	-10	206

Tableau 34 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Grands Fonds

L'ensemble structural de la **Plaine-de-Grippon** est limité au sud et à l'ouest par la mer et à l'est, par une zone fracturée (Illustration 31). Il constitue le centre d'un graben (fossé d'effondrement) et se situe, ainsi, en position affaissée par rapport aux autres ensembles structuraux :

- la nappe principale est contenue dans les calcaires supérieurs ;
- l'axe du graben correspond à un axe majeur de drainage de la nappe ;
- la nappe repose sur le niveau volcano-sédimentaire dans le centre de l'unité.

La tranche d'eau douce est peu épaisse et la surface piézométrique est proche de la surface topographique. L'analyse des fluctuations des bilans d'eau (Illustration 34 et Illustration 35) montre que :

- La limite à potentiel imposé sur le pourtour littoral ouest draine l'aquifère en permanence avec un débit moyen de 320 m<sup>3</sup>/h,
- Les débordements sont relativement importants par rapport à l'extension latérale de la zone et correspondent au débordement par la rivière Ravine des Coudes, la plus importante de Grande-Terre. Les débits sont compris entre 0 et 900 m<sup>3</sup>/h avec des pics de débordement coïncidant aux pics d'infiltration,
- Les prélèvements sont faibles et stables sur la zone, compris entre 40 et 130 m<sup>3</sup>/h,
- La recharge de la nappe est plus faible sur la zone mais néanmoins importante comparée aux autres composantes du bilan d'eau, avec des pics de débit compris entre 2000 et 10500 m<sup>3</sup>/h, entrecoupés de périodes de sécheresse ne dépassant pas 6 mois (janvier 2001 à début juillet 2001),
- Le stockage ou déstockage d'eau de l'aquifère est parfaitement corrélé aux débits de recharge.

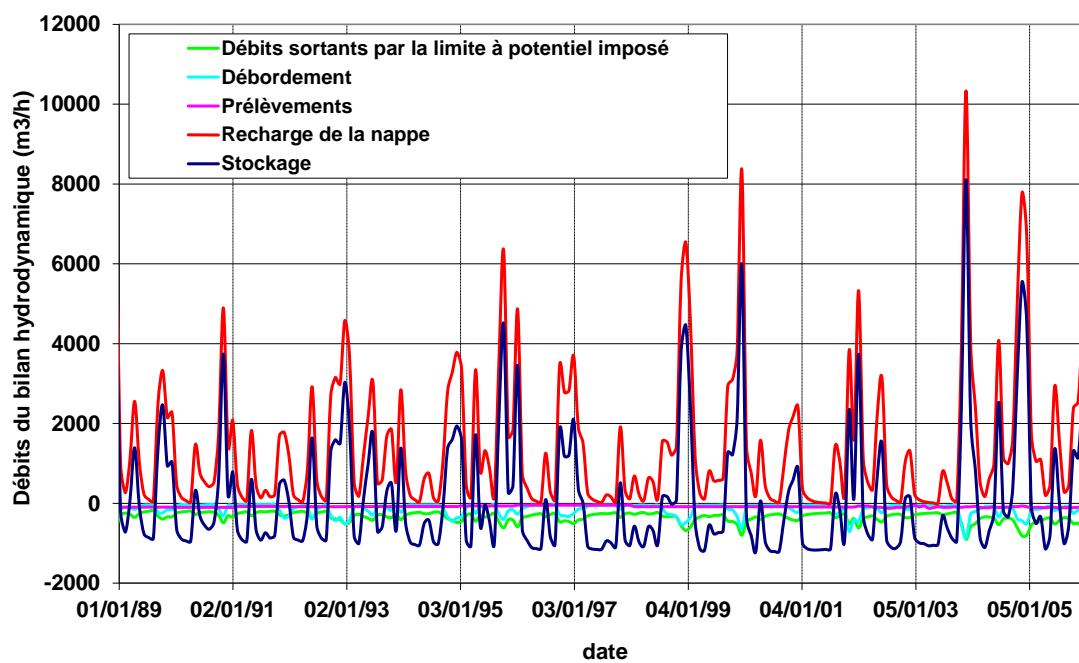


Illustration 34 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur de la Plaine de Gripon m<sup>3</sup>/h)

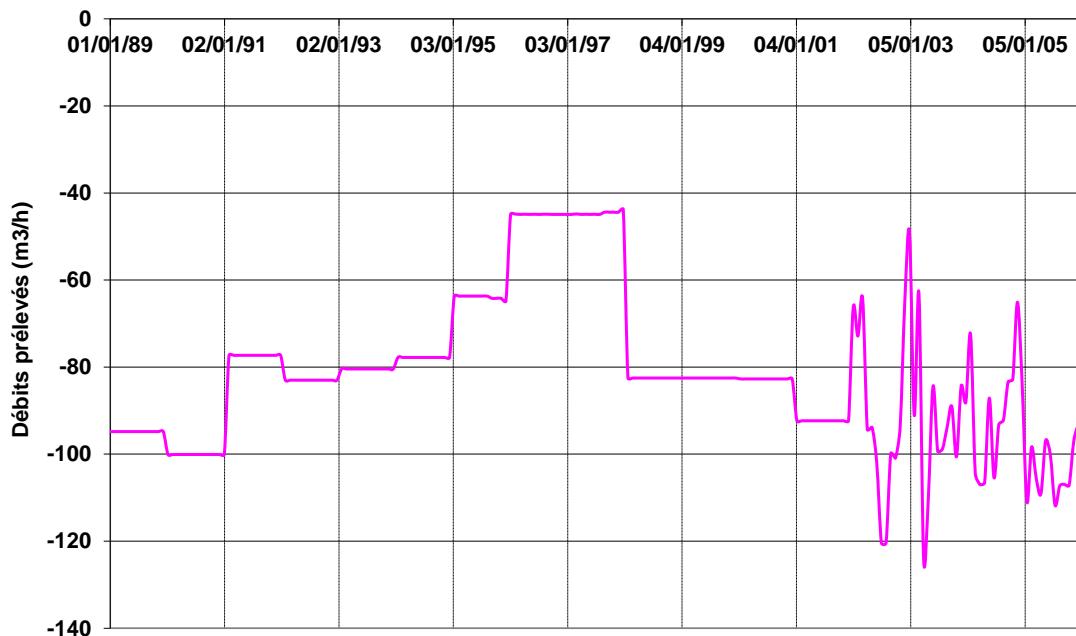


Illustration 35 : Fluctuations des prélevements dans le secteur de la Plaine de Gripon (m<sup>3</sup>/h)

Le Tableau 35 présente un résumé en mm/an de ces bilans sur trois années types : 1997 (sèche), 2002 (moyenne) et 2004 (humide).

Zone de la Plaine de Gripon surface = 41.6km <sup>2</sup>	Débits sortants par la limite à potentiel imposé (mm/an)	Prélèvements (mm/an)	Recharge (mm/an)	Débordement (mm/an)	Stockage (mm/an)
année sèche - 1997	-62	-9	116	-15	-152
année moyenne - 2002	-77	-19	278	-30	3
année humide - 2004	-103	-19	567	-46	242

Tableau 35 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone de la Plaine de Gripon

L'ensemble structural des **Plateaux du Nord** est limité à l'ouest, au nord et à l'est par la mer et au sud par une faille majeure E-W la séparant de la Plaine de Gripon. La nappe est contenue dans les calcaires supérieurs et inférieurs qui ne sont pas séparés, ici, par le niveau volcano-sédimentaire. Le pendage des formations vers l'ouest – sud-ouest détermine le sens d'écoulement de la nappe.

La tranche d'eau douce est très peu épaisse et l'analyse des fluctuations des bilans d'eau (Illustration 36 et Illustration 37) montre que :

- La limite à potentiel imposé sur le pourtour littoral nord-ouest, nord et nord-est draine l'aquifère en permanence avec un débit moyen de 7900 m<sup>3</sup>/h ;
- Les débordements sont compris entre 0 et 2000 m<sup>3</sup>/h ;

- Les prélèvements sont faibles et stables sur la zone, compris entre 60 et 160 m<sup>3</sup>/h ;
- La recharge de la nappe est forte avec des pics de débit compris entre 10000 et 60000 m<sup>3</sup>/h, entrecoupés de périodes de sécheresse ne dépassant pas 6 mois (janvier 2001 à début juillet 2001) ;
- Le stockage ou déstockage d'eau de l'aquifère est parfaitement corrélé aux débits de recharge.

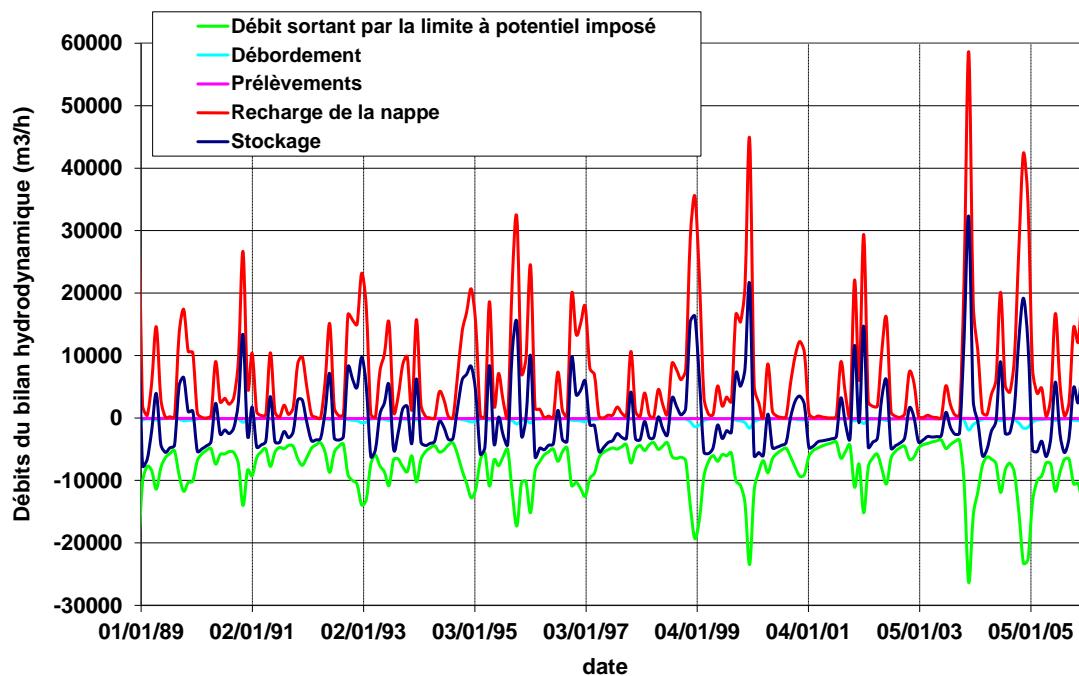


Illustration 36 : Fluctuations des débits d'eau dans le secteur des Plateaux du Nord (m<sup>3</sup>/h)

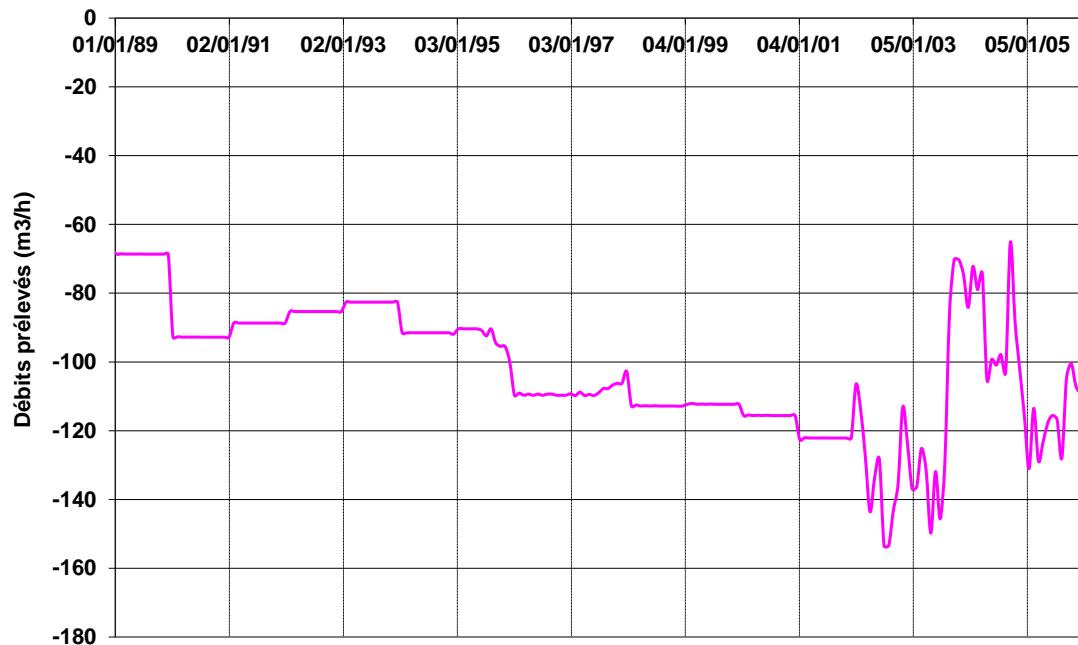


Illustration 37 : Fluctuations des prélevements dans le secteur des Plateaux du Nord ( $m^3/h$ )

Le Tableau 36 présente un résumé en mm/an de ces bilans sur trois années types : 1997 (sèche), 2002 (moyenne) et 2004 (humide).

Zone des Plateaux du Nord surface = 204 km <sup>2</sup>	Débits sortants par la limite à potentiel imposé (mm/an)	Prélèvements (mm/an)	Recharge (mm/an)	Débordement (mm/an)	Stockage (mm/an)
année sèche - 1997	-253	-5	110	-6	-112
année moyenne - 2002	-314	-6	280	-10	-7
année humide - 2004	-490	-4	593	-22	127

Tableau 36 : Bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Plateaux du Nord

L'ensemble structural des **Plateaux de l'Est** est limité au sud, au nord et à l'ouest par la mer (Illustration 31). Il est marqué par une structure hétérogène (nombreux sous compartiments structuraux) qui conditionne le mode de gisement des eaux souterraines :

- La nappe est alternativement contenue dans les calcaires inférieurs et dans les calcaires supérieurs.
- Elle repose sur un niveau volcano-sédimentaire peu épais dans certains compartiments structuraux (centre de l'unité).
- Elle présente un seuil hydraulique orienté NW-SE dans sa partie est.

L'épaisseur de la tranche d'eau douce est importante au centre de l'unité et faible en bordure. L'analyse des fluctuations des bilans d'eau (Illustration 38 et Illustration 39) dans les Plateaux de l'Est montre que :

- La limite à potentiel imposé sur le pourtour littoral Sud-Est draine l'aquifère en permanence avec un débit moyen de  $4150 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Les débordements sur la zone sont très faibles. Les petits cours d'eau (ravines) sur la zone sont peu alimentés par le tarissement de la nappe mais essentiellement par le ruissellement en période de précipitation,
- Les prélevements sont très faibles et en diminution sur la zone, compris entre 0.5 et  $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- La recharge de la nappe est forte avec des pics de débit compris entre 5000 et  $30000 \text{ m}^3/\text{h}$ , entrecoupés de périodes de sécheresse ne dépassant pas 7 mois (fin décembre 1997 à fin juillet 1997),
- Le stockage ou déstockage d'eau de l'aquifère est parfaitement corrélé aux débits d'infiltration.

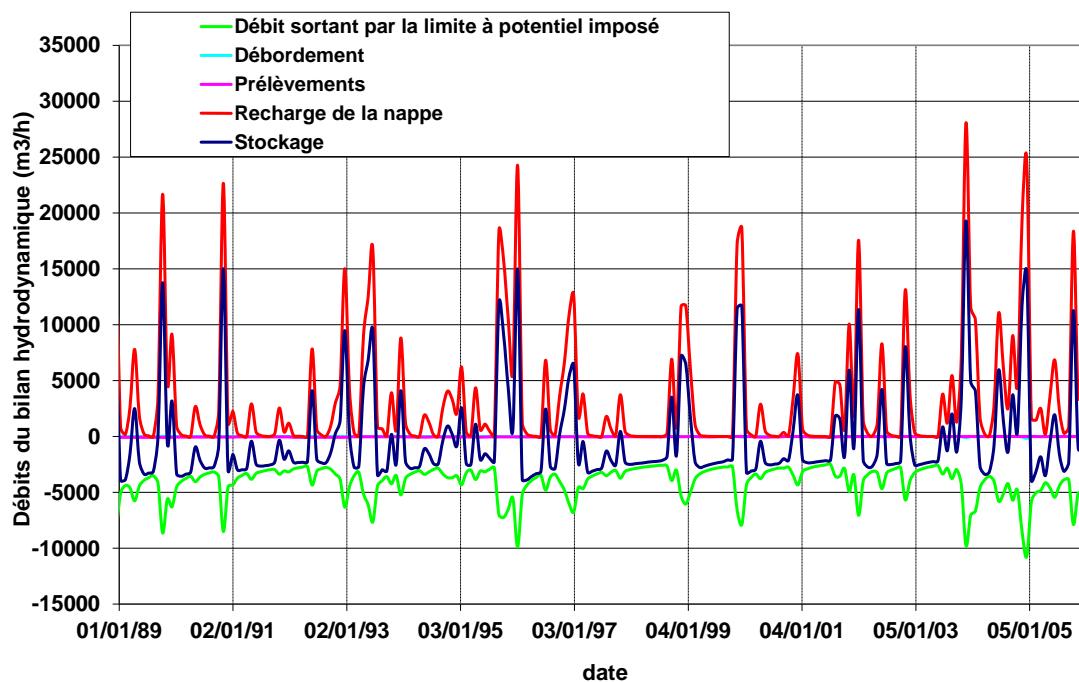


Illustration 38 : Fluctuations des débits d'eau dans les Plateaux de l'Est ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

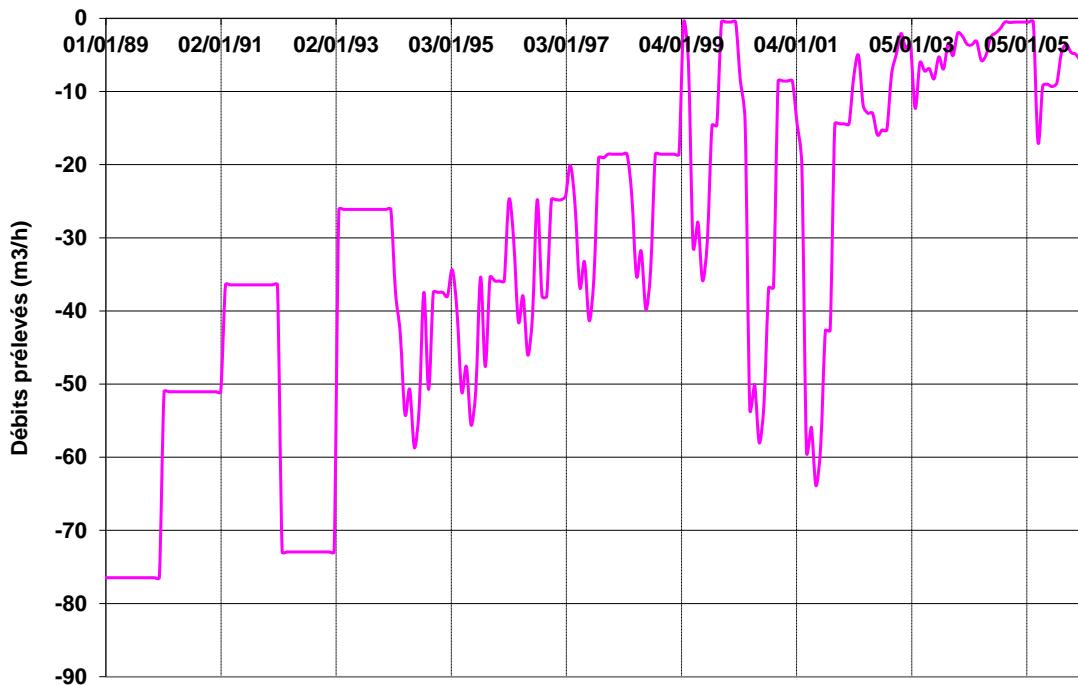


Illustration 39 : Fluctuations des prélèvements dans les Plateaux de l'Est ( $m^3/h$ )

Le Tableau 37 présente un résumé en mm/an de ces bilans sur trois années types : 1997 (sèche), 2002 (moyenne) et 2004 (humide).

Zone des Plateaux de l'Est surface = 146km <sup>2</sup>	Débits sortants par la limite à potentiel imposé (mm/an)	Prélèvements (mm/an)	Recharge (mm/an)	Débordement (mm/an)	Stockage (mm/an)
année sèche - 1997	-213	-2	64	0	-126
année moyenne - 2002	-235	-1	232	0	27
année humide - 2004	-338	0	465	-1	154

Tableau 37 : bilans hydrogéologiques calculés pour la zone des Plateaux de l'Est

Sur la base de ce modèle calé sur la période 1985-2005 sont réalisés des scénarios d'exploitations pour évaluer la faisabilité de la mise en place des champs captants prévus dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe. Les effets induits par ces prélèvements supplémentaires de rabattements de la nappe et de mouvements de l'interface eau douce-eau salée sont discutés.

### 3.2.4. Simulation d'exploitation des champs captants du SDMEA à partir du modèle hydrodynamique de Grande-Terre

#### a) Présentation des scénarios d'exploitation simulés

Deux scénarios d'exploitation ont été simulés dans cette étude, sur la période de calage 1985-2005, à l'aide du modèle hydrodynamique de Grande-Terre. Ils portent sur les 25 forages dont l'implantation est prévue dans le SDMEA de l'Office de l'Eau de Guadeloupe.

La description de ces deux scénarios en termes de débits de pompage et cadences de prélèvement est résumée dans le Tableau 38. Il est à noter qu'ils diffèrent quant au volume prélevé quotidiennement (de 42 000 et 34 000 m<sup>3</sup> respectivement).

Rappelons que l'étude concerne l'implantation de nouveaux forages, les débits simulés ici se surimposent donc aux prélèvements déjà renseignés dans le modèle de Grande-Terre sur la période 1985-2005 (cf. BRGM/RP-55039-FR, Hamm et al. 2007).

Champs captant	Nombre de forage	Scénario 1		Scénario 2	
		Débit par forage (m <sup>3</sup> /h)	Durée de fonctionnement	Débit par forage (m <sup>3</sup> /h)	Durée de fonctionnement
Nord GT	8	70	24h/24	70	20h/24
Sud GT	9	70	24h/24	70	20h/24
Est GT	3	70	24h/24	70	20h/24
Forages autonomes	5	70	24h/24	60	20h/24
<b>Total Grand Terre</b>	25	<b>Volume total prélevé : 42000 m<sup>3</sup>/jour</b>		<b>Volume total prélevé : 34000 m<sup>3</sup>/jour</b>	

Tableau 38: Description des deux scénarios d'exploitation simulés. Ces scénarios portent sur les quatre champs captants prévus dans le SDMEA de l'OE de Guadeloupe et diffèrent quant à la configuration d'exploitation adoptée (volume prélevé par jour, en rouge ici)

## b) Résultats obtenus

### 1) Scénario 1 : 25 captages prélevant chacun un débit de 70 m<sup>3</sup>/h 24h/24

Dans ce scénario, les 25 nouveaux captages fonctionnent 24h/24 et prélèvent 70 m<sup>3</sup>/h chacun (ce qui représente un volume annuel de 613 200 m<sup>3</sup>/puits). Ce scénario est dimensionné avec des maxima en termes de durées de fonctionnement et de débits. A l'échelle de la Grande-Terre, le débit horaire moyen prélevé sur les forages AEP est d'environ 35 m<sup>3</sup>/h.

Ce premier scénario est résumé Tableau 39.

Champs captant	Nombre de forage	Débit par forage (m <sup>3</sup> /h)	Durée de fonctionnement	Volume prélevé par forage (m <sup>3</sup> /jour)	Volume prélevé par forage (Mm <sup>3</sup> /an)
Nord GT	<b>8</b>	70	<b>24h/24</b>	1680	0,6132
Sud GT	<b>9</b>	70	<b>24h/24</b>	1680	0,6132
Est GT	<b>3</b>	70	<b>24h/24</b>	1680	0,6132
Forages autonomes	<b>5</b>	<b>70</b>	<b>24h/24</b>	1680	0,6132
<b>Total Grand Terre</b>	<b>25</b>			<b>42000</b>	<b>15,33</b>

Tableau 39 : Description du premier scénario d'exploitation simulé (débit horaire, durée de fonctionnement par jour, etc). Sont surlignés en rouge les éléments qui diffèrent du scénario 2

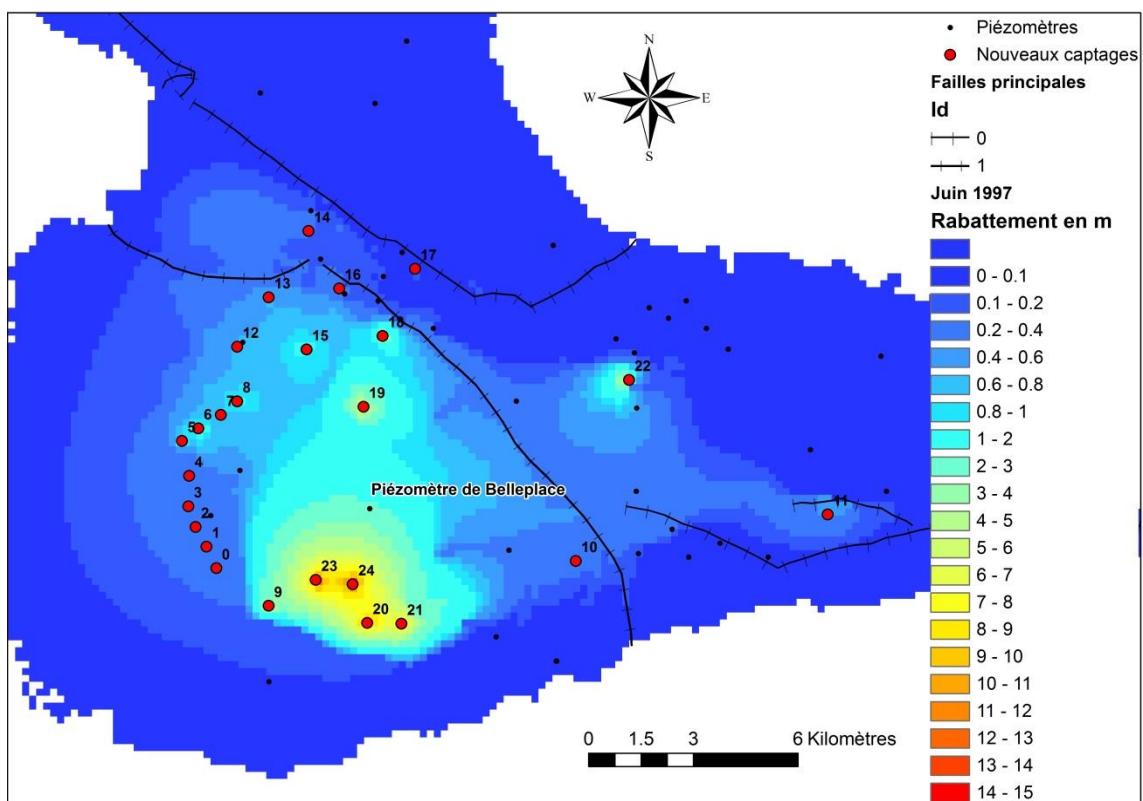
Les résultats de simulation de ce premier scénario montrent la présence de dénoyage dans le secteur des Grands-Fonds (jusqu'à 4,8%). Dans le détail, ces dénoyages concernent principalement la maille puits (200x200 m) n°9 : le modèle ne parvient pas à prélever le volume demandé dans ce puits pendant toute la durée de la simulation (1985-2005). En effet, le volume que le modèle parvient à prélever dans cette maille puits n°9 décroît progressivement avec le rabattement de la nappe. Il est globalement réduit de moitié (35 m<sup>3</sup>/h au lieu de 70) à partir de 1997 (selon période calage du modèle entre 1985 et 2005).

Le scénario d'exploitation n°1 considérant des prélevements de 70 m<sup>3</sup>/h 24h/24 sur le captage n°9 n'est donc *a priori* pas applicable. Les volumes prélevés dans ce scénario ne semblent, par contre, pas poser de problème sur les 24 autres points de captages considérés (aucun dénoyage constaté).

Les cartographies de l'illustration 40 donnent les rabattements calculés pour le scénario d'exploitation n°1 sur trois années : sèche (1997), moyenne (2002) et humide (2004). Elles montrent que la nappe est particulièrement influencée par les prélevements au centre de l'ensemble structural des Grands-Fonds et localement

autour des puits n°5, 6 et 8 (champ captant Ouest GT), n°15 et 18 (champ Nord GT) et n°22 (champ Est GT). Dans le détail, la baisse des niveaux calculée est supérieure à 1 m sur une zone de 6x8 km s'étendant depuis les 5 captages autonomes situés au sud des Grands-Fonds (n°9, 20, 21, 23 et 24) jusqu'au nord du forage n°19 (champ captant Nord GT). Elle est, par ailleurs, supérieure à 4 m sur une zone de 4x2.5 km centrée autour des puits autonomes du sud (jusqu'à 14 m dans la maille puits n°24), et, dans les mailles puits n°18, 19 et 22 (valeur calculée dans ces mailles en Juin 2004 de 4.90, 7.79 et 6.26 m, respectivement). Le rabattement est moins prononcé (compris entre 1 et 3 m) dans les mailles puits situées plus à l'Ouest (n°5, 6, 8 et 15). Notons que le rabattement calculé autour du forage n°22 est supérieur à 1 m sur une zone de 1x0.8 km. Ailleurs, comme au sud des Plateaux de l'Est, par exemple, la nappe est peu influencée par les prélèvements. La baisse des niveaux calculée y est, en effet, négligeable : entre 10 et 65 cm.

Ainsi, parmi les piézomètres de surveillance existants, seul celui de Belleplace (n° BSS 1148ZZ0024/P) situé au centre des Grands-Fonds est concerné par une baisse non négligeable de ses niveaux (de l'ordre de 2,66 m en juin 2004).



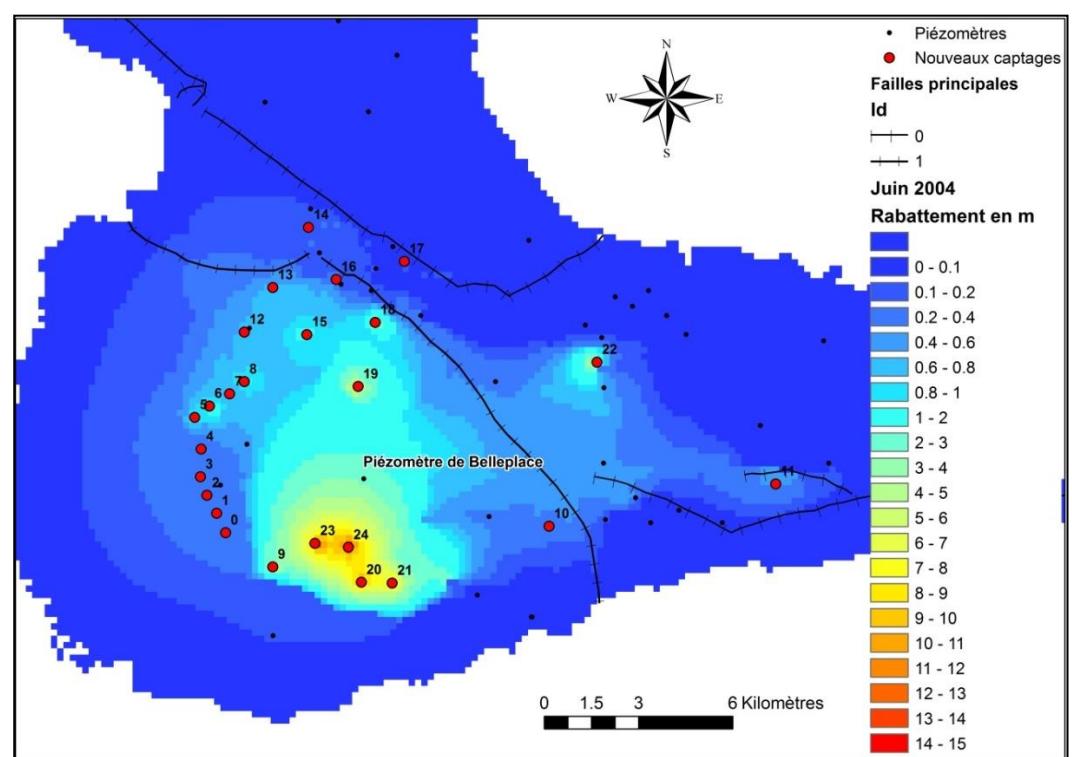
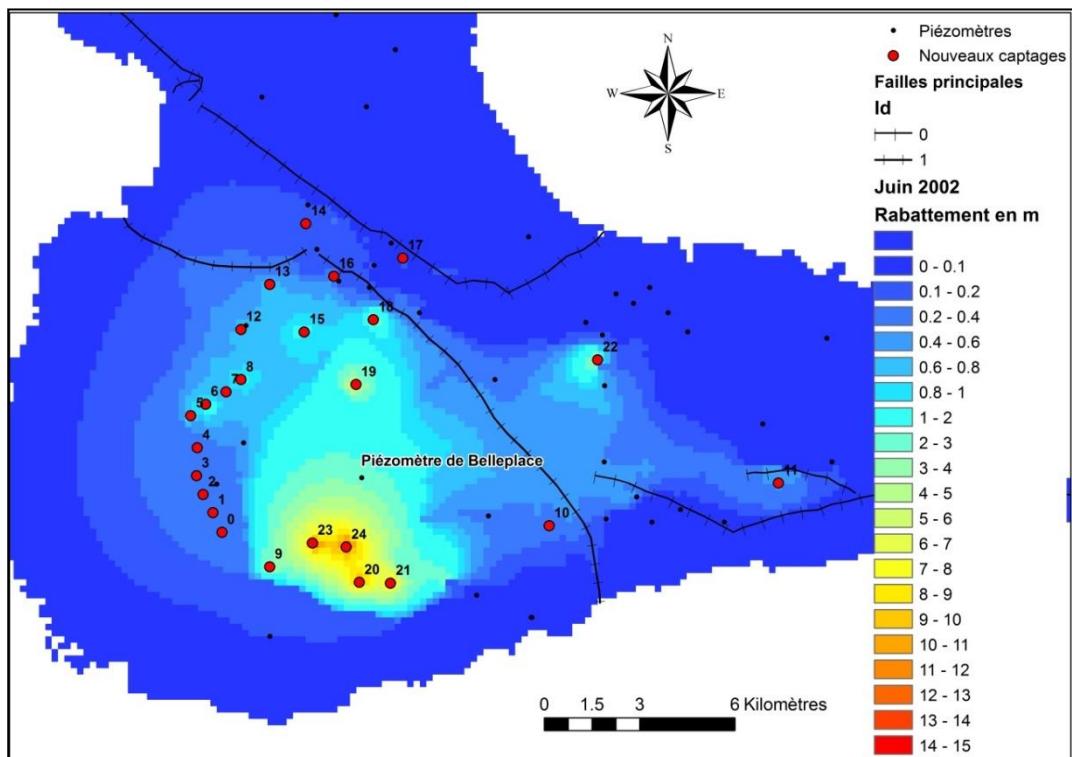


Illustration 40 : Rabattements simulés pour le scénario 1 sur le secteur d'étude (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m<sup>3</sup>/h 24h/24 sur la période 1985-2005)

L'ILLUSTRATION 41 donne la profondeur de l'interface eau douce-eau salée calculée pour le scénario d'exploitation n°1, à la date du 27 juin 1997<sup>4</sup>.

L'ILLUSTRATION 42 montre que la mise en exploitation des nouveaux captages n'entraîne pas une avancée significative du biseau salée. En effet ; les ouvrages concernés par une avancée du biseau après la mise en service des nouveaux puits sont ceux déjà concernés en l'état actuel.

Une diminution de la profondeur de l'interface eau douce – eau salée est à signaler pour les futurs nouveaux forages suivants : n°7, 8, 9 et 22.

---

<sup>4</sup> La profondeur de l'interface varie de quelques dizaines de cm suivant la saison et l'année considérée. Le mois de Juin 1997 est pris ici comme référence.

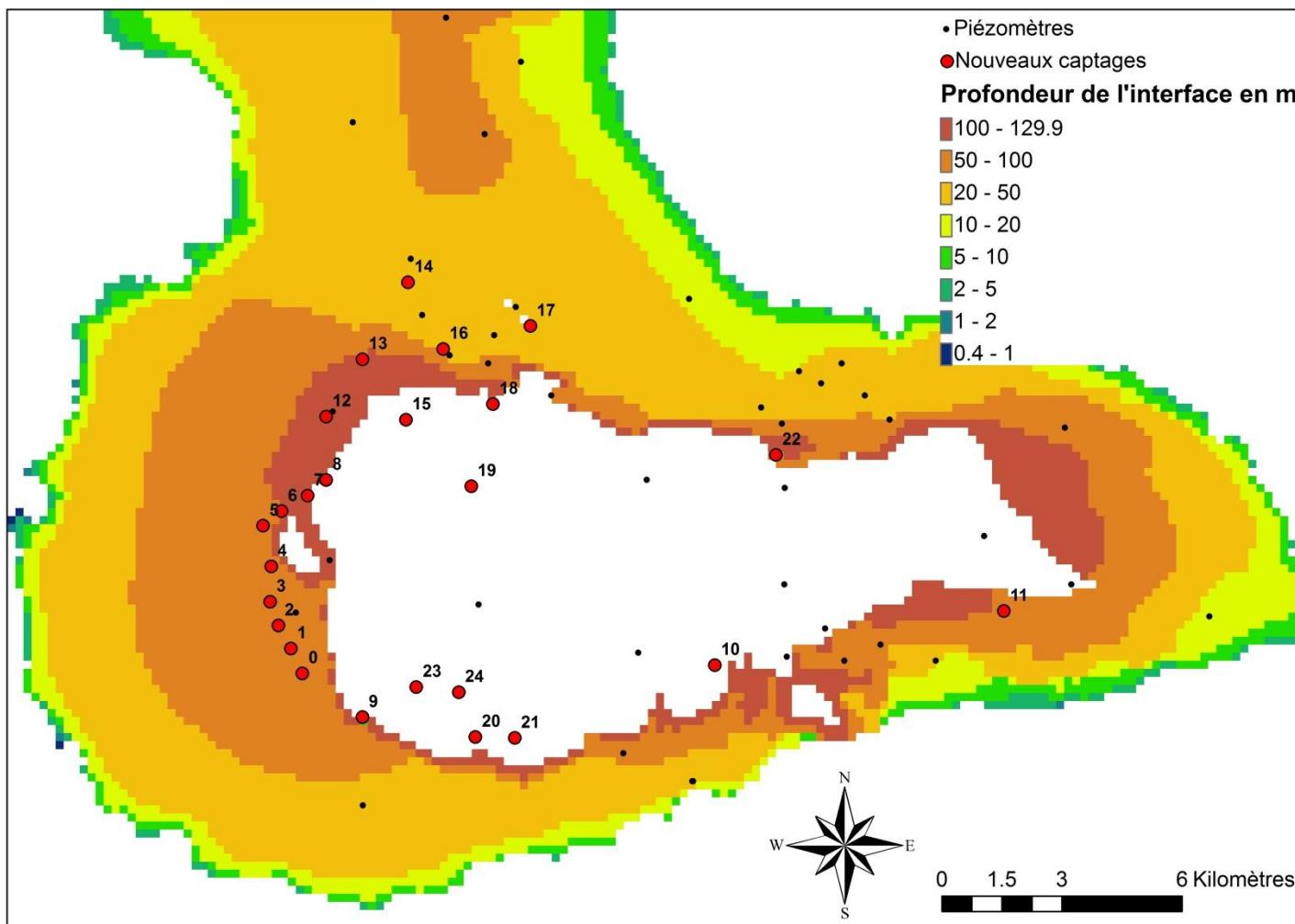


Illustration 41 : Profondeur calculée de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) sur le secteur d'étude pour le scénario 1 (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  24h/24 sur la période 1985-2005)

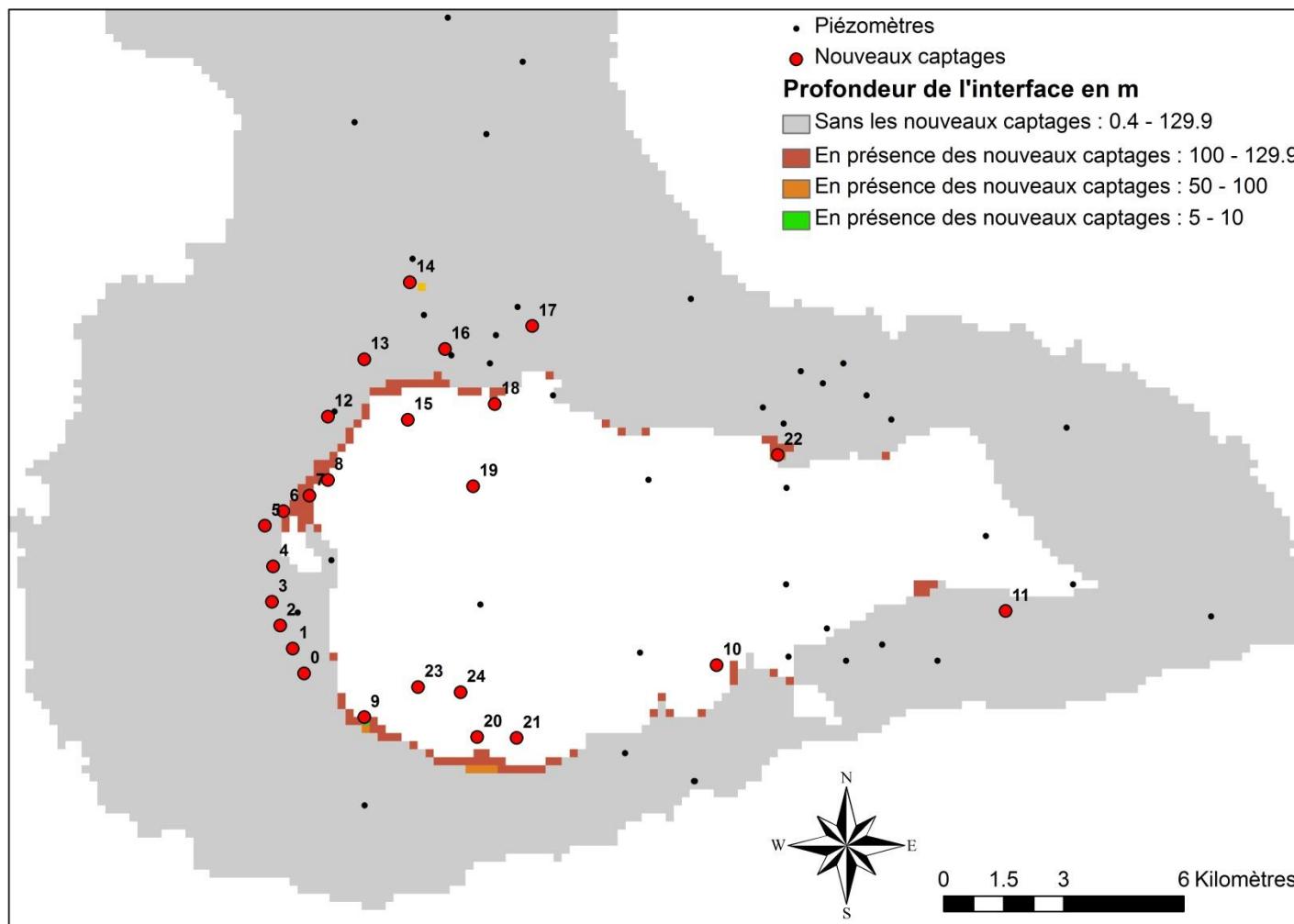


Illustration 42 : Evolution de la profondeur de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) induite sur le secteur d'étude par le scénario 1  
 (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  24h/24 sur la période 1985-2005)



L'Illustration 43 donne la variation de la proportion d'eau salée (en %)<sup>5</sup> sur le secteur d'étude (valeurs obtenues par la soustraction des proportions calculées sans prise en compte des pompages supplémentaires, par celles calculées avec prise en compte des pompages supplémentaires à la date du 27 juin 1997). La date du 27 juin 1997 est prise comme référence car la proportion d'eau salée varie de quelques pourcents suivant la saison et l'année considérée. Elle montre que la mise en exploitation des captages entraîne une augmentation de la proportion d'eau salée dans un rayon de plusieurs km autour des puits pompés. La plaine de Grippon, l'ouest et l'extrême sud des Grands-Fonds (bande étroite au sud des captages n°9, 20, 21, 23 et 24) et les alentours du captage n°11 sont les secteurs les plus affectés par cette salinisation, avec une augmentation supérieure à 5% (par rapport au cas sans pompage supplémentaire) sur une zone de 6,5x2 km, 6x1 km, 7x0,2 km et 3x1,5 km, respectivement.

Les piézomètres de surveillance sont peu nombreux dans ces zones affectées par une augmentation supérieure à 5% ; ils sont au nombre de 5 : Boisvin-Abymes, Beausoleil, Berville, Jabrun, Laroche (variation de la proportion d'eau salée de +8% en moyenne sur ces ouvrages).

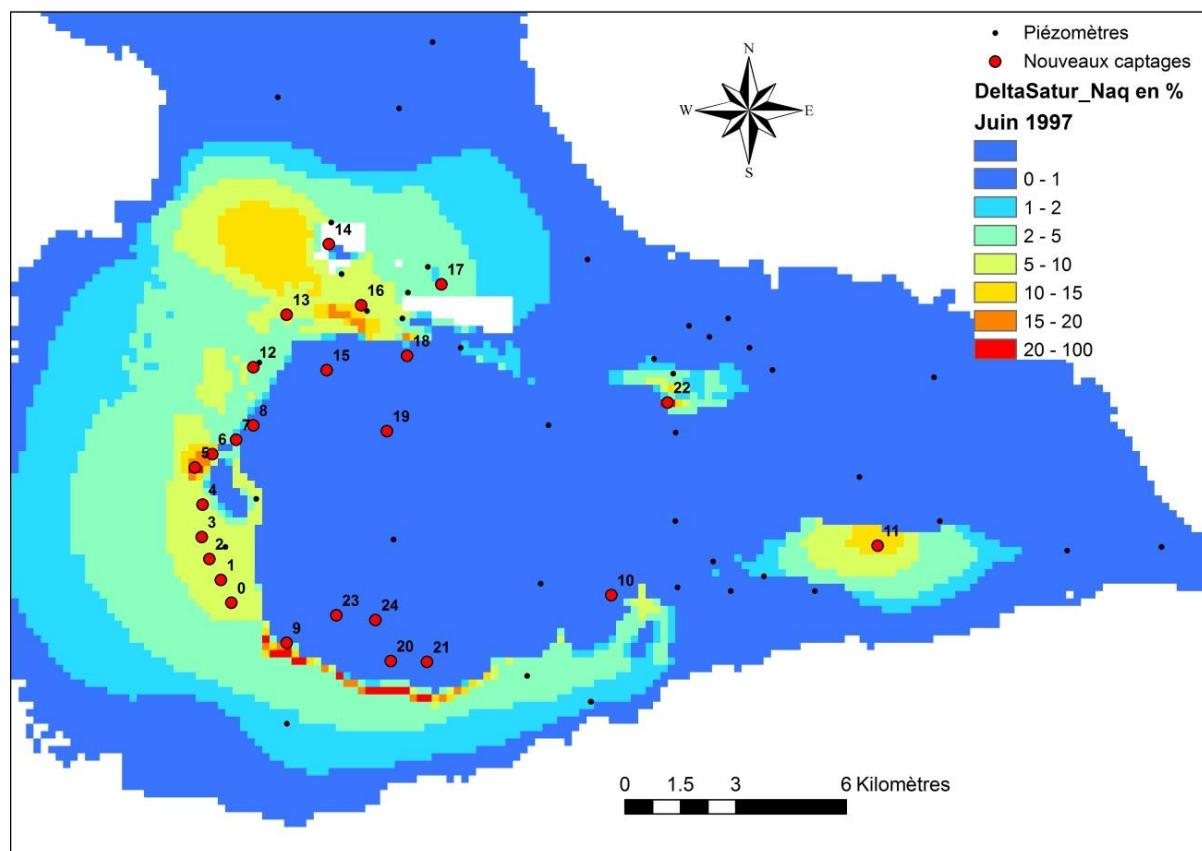


Illustration 43 : Evolution de la teneur en eau salée (en %) sur le secteur d'étude induite par le scénario 1  
(Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m<sup>3</sup>/h 24h/24 sur la période 1985-2005)

<sup>5</sup> La proportion d'eau salée contenue dans une maille est calculée par le rapport Satur\_Naq/Satur\_Liq et est exprimée en %. Satur\_Liq et Satur\_Naq représentent respectivement la saturation en liquide et la saturation en eau salée de la maille. Ces deux paramètres sont définis comme suit :

Satur\_Liq = porosité x (épaisseur d'aquifère occupée par du liquide/épaisseur de l'aquifère)

Satur\_Naq = porosité x (épaisseur d'aquifère occupée par de l'eau salée/épaisseur de l'aquifère)

Le lecteur pourra se référer à l'article de Thiéry (2004) pour plus de détails.

Il est à noter que la proportion d'eau salée est initialement élevée (sans pompage supplémentaire) sur un large pourtour de l'île de Grande-Terre (jusqu'à 5 km des côtes dans le secteur des Grands-Fonds et de la Plaine des Grippons, Illustration 44). La proportion d'eau salée est ainsi, par exemple, supérieure à 70% pour les ouvrages implantés sur la Plaine de Gripon et sur la commune du Moule, avant toute mise en exploitation des nouveaux forages.

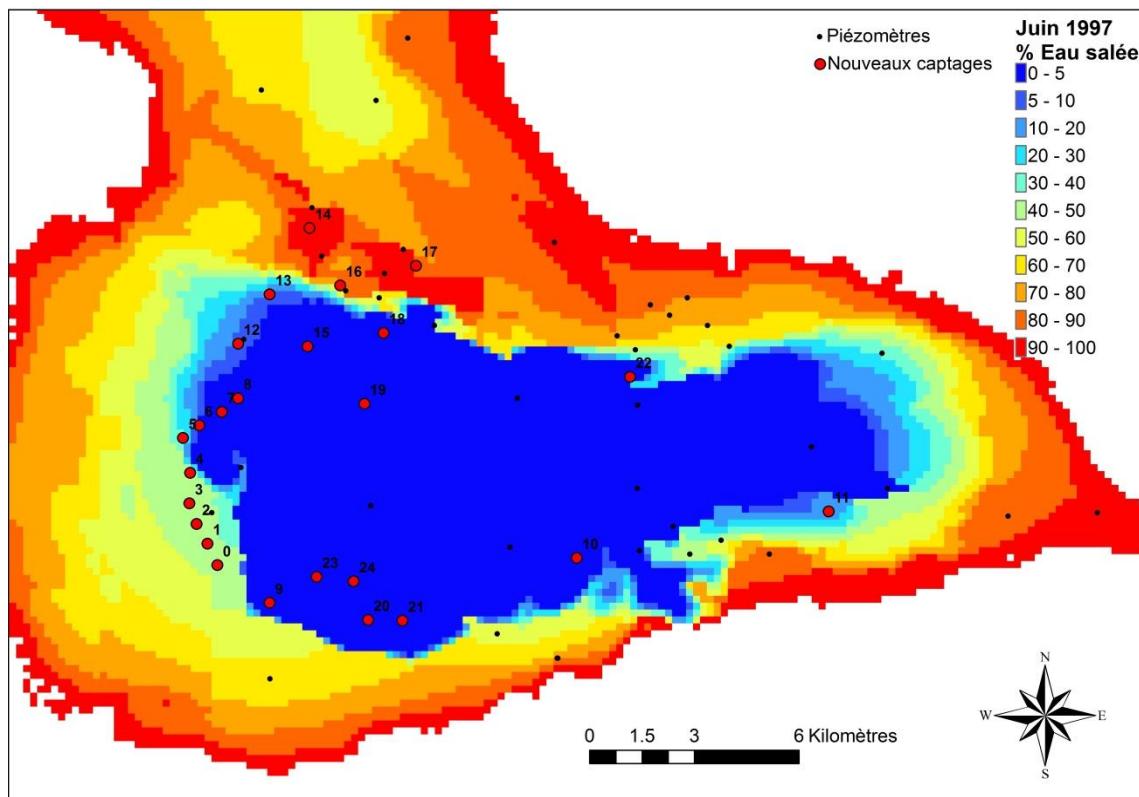


Illustration 44 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario de référence : aucun pompage supplémentaire sur la période 1985-2005)

La mise en exploitation des nouveaux captages ne fait qu'accentuer le phénomène autour des puits pompés (Illustration 45). La proportion d'eau salée dans la partie sud du champ captant Sud GT (captages n° 0 à 5) est initialement comprise entre 30 et 50% ; elle n'excède ainsi que localement 55% malgré les nouveaux prélèvements (c'est le cas dans la maille puits n°5 où la valeur calculée atteint 64%). La proportion d'eau salée est initialement nulle autour des nouveaux ouvrages n°20, 21, 23 et 24 (sud des Grands-Fonds), n°10 (forage Est GT), n°7, 8, 15, 18 et 19 (champs captant Ouest et Nord GT) ; elle reste ainsi inférieure à 5% malgré les nouveaux prélèvements. La proportion initiale d'eau salée est également nulle au droit des captages n°9 et 22. Toutefois, la remontée du biseau salé, et ainsi la salinisation des eaux, sont plus conséquentes autour de ces deux ouvrages (Illustration 42 et Illustration 43 – profondeur du biseau salé dans la maille puits n°9 inférieure à 10 m) ; la proportion d'eau salée y atteint ainsi respectivement 95 et 30% suite à la mise en exploitation des nouveaux captages.

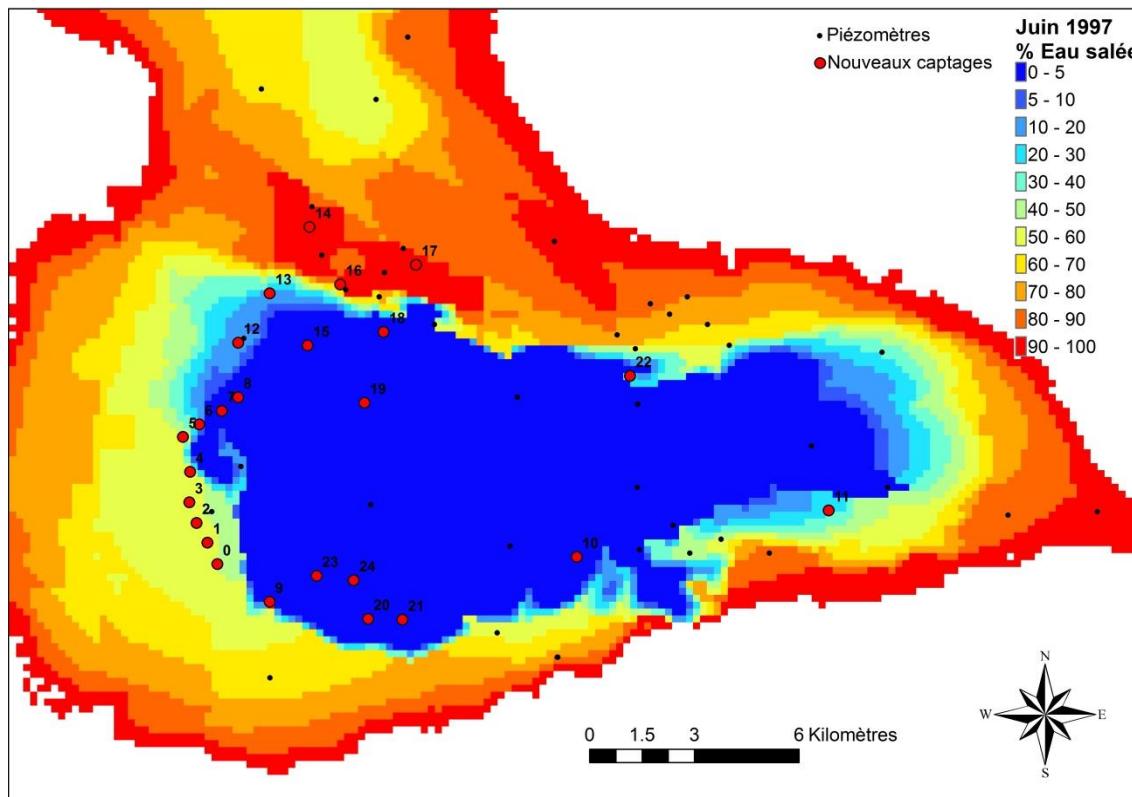


Illustration 45 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario 1 : 25 prélèvements supplémentaires de 70 m<sup>3</sup>/h 24h/24 sur la période 1985-2005)

## 2) Scénarios 2 : 25 captages dont 5 prélevant un débit de 60 m<sup>3</sup>/h 20h/24

Le scénario 2 porte également sur les 3 champs captant + forages non localisés (vingt-cinq forages) prévus dans le SDMEA de l'OE971 (localisation Illustration 29 et Tableau 33).

Ce second scénario est résumé dans le Tableau 40. Il diffère du précédent scénario par les volumes prélevés quotidiennement (diminution des durées de fonctionnement et débits).

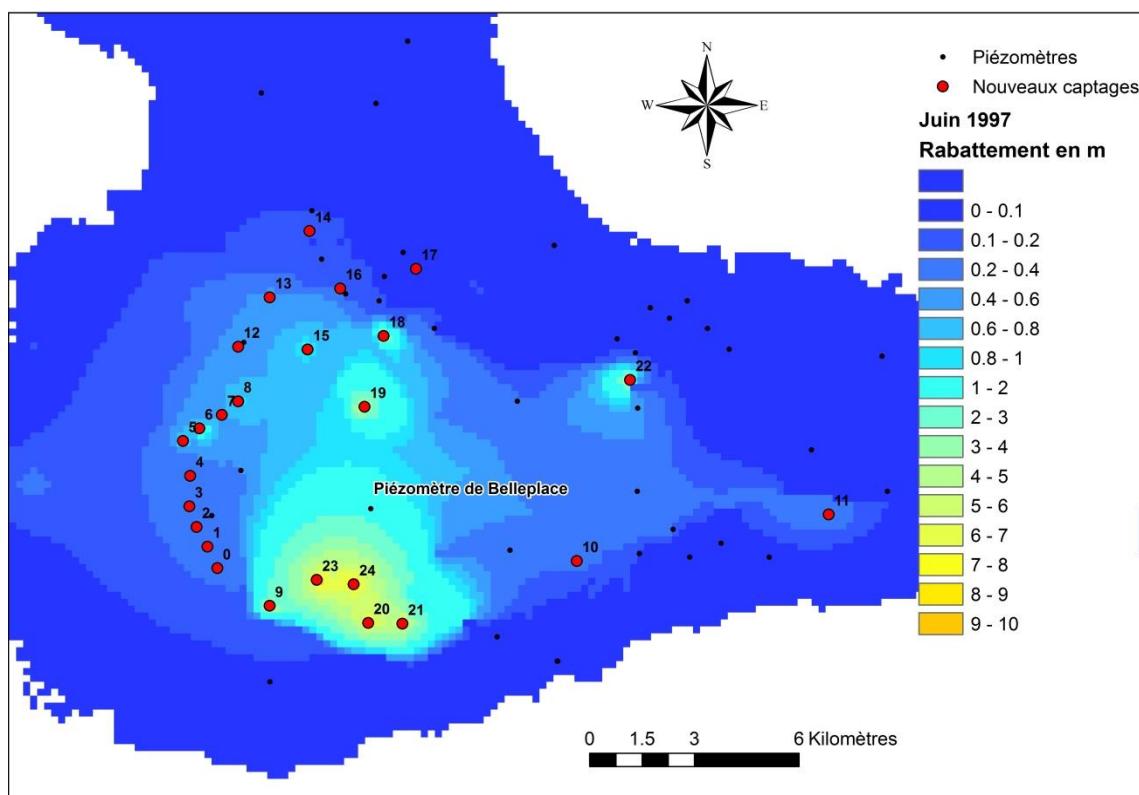
Champs captant	Nombre de forage	Débit par forage (m <sup>3</sup> /h)	Durée de fonctionnement	Volume prélevé par forage (m <sup>3</sup> /jour)	Volume prélevé par forage (Mm <sup>3</sup> /an)
Nord GT	8	70	20h/24	1400	0,511
Sud GT	9	70	20h/24	1400	0,511
Est GT	3	70	20h/24	1400	0,511
Forages autonomes	5	60	20h/24	1200	0,438
<b>Total Grand Terre</b>	25			<b>34000</b>	<b>12,4</b>

Tableau 40 : Description du second scénario d'exploitation simulé (débit horaire, durée de fonctionnement par jour, etc). Sont surlignés en rouge les éléments qui diffèrent du scénario 1

Les résultats de simulation de ce deuxième scénario montrent également la présence de dénoyage dans le secteur des Grands-Fonds (jusqu'à 1,79%). Dans le détail, ces dénoyages concernent principalement et à nouveau la maille puits (200x200 m) n°9 : le modèle ne parvient plus à prélever la totalité du volume demandé dans ce puits à partir de septembre 2004. En effet, le volume que le modèle parvient à prélever dans cette maille puits n°9 décroît progressivement avec le rabattement de la nappe. Il n'est plus que de 50 m<sup>3</sup>/h (au lieu de 60) en juin 2005.

Le scénario d'exploitation n°2 considérant des prélèvements de 60 m<sup>3</sup>/h 20h/24 sur le captage n°9 (438000 m<sup>3</sup>/an) n'est donc *a priori* pas applicable. Les volumes prélevés dans ce scénario ne semblent, par contre, pas poser de problème sur les 24 autres points de captages considérés (aucun dénoyage constaté).

Les résultats de simulation du scénario 2 sont globalement semblables aux résultats du scénario 1 (cf. Illustration 46). La nappe est, ainsi, principalement influencée par les prélèvements au centre de l'ensemble structural des Grands-Fonds et localement autour des puits n°5, 6 et 8 (champ captant Sud GT), n°15 et 18 (champ Nord GT) et n°22 (forage Est GT). Néanmoins, dans le détail, la baisse des niveaux calculée est plus faible et moins étendue que pour le scénario 1. Elle est ainsi supérieure à 1 m sur une zone de 4,5 km de large (contre 6 km de large pour le scénario 1) s'étendant depuis les 5 captages du sud (n°9, 20, 21, 23 et 24) au nord du forage n°19 (champ captant Nord GT). Elle est, par ailleurs, supérieure à 4 m sur une zone centrée autour des puits autonomes du sud, plus restreinte, de 3x1,5 km (contre 4x2,5 km pour le scénario 1). Le rabattement calculé dans la maille puits (200x200 m) n°24 n'est plus que de 9,99 m (contre 14 m pour le scénario 1). Ailleurs, la nappe reste également peu influencée par les prélèvements ; baisse des niveaux comprise entre 10 et 60 cm. Le piézomètre de Belleplace reste ainsi le seul piézomètre *a priori* impacté par les prélèvements supplémentaires (baisse calculée de ses niveaux de 2,16 m).



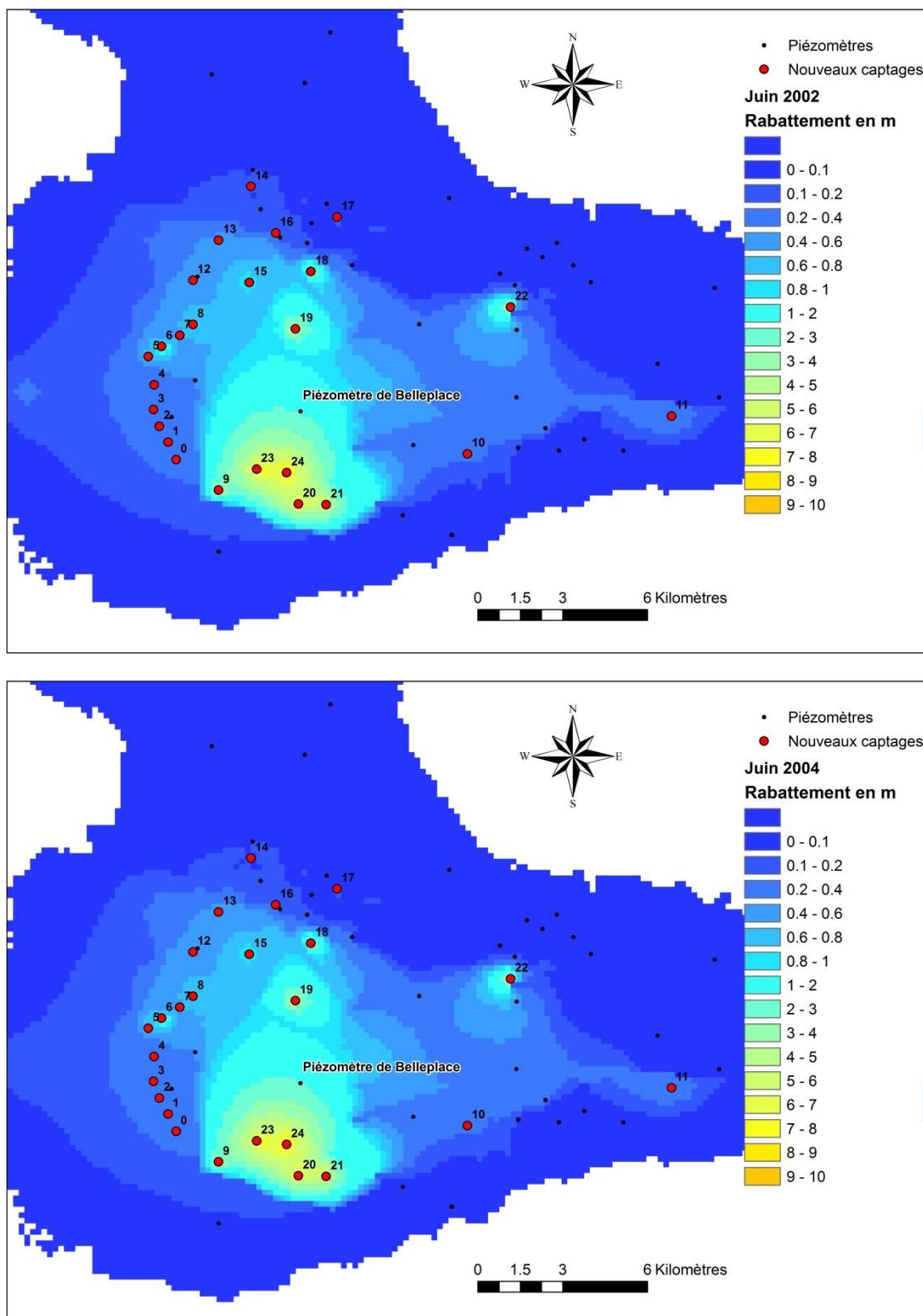


Illustration 46 : Rabattements simulés pour le scénario 2 sur le secteur d'étude (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 et 5 de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 sur la période 1985-2005)

L'Illustration 47 donne la profondeur de l'interface eau douce-eau salée calculée pour le scénario d'exploitation n°2, à la date du 27 juin 1997. On peut ainsi constater que les captages prévus dans le SDMEA sont pour la plupart concernés par la présence d'eau salée. Les ouvrages non concernés sont les mêmes que pour le scénario 1, à savoir les captages n°8, 10, 15, 18, 19, 20, 21, 23 et 24.

L'Illustration 48 montre que les ouvrages concernés par l'avancée du biseau salé après la mise en service des nouveaux captages sont ceux déjà concernés auparavant (en dehors des nouveaux puits suivants : n°7, 8, 9 et 22). Dans la maille puits n°9 où la remontée du biseau est la plus spectaculaire, l'interface eau douce-eau salée se trouve à - 66,8 m NGF après la mise en exploitation des nouveaux ouvrages (contre - 61,6 m pour le scénario 1).

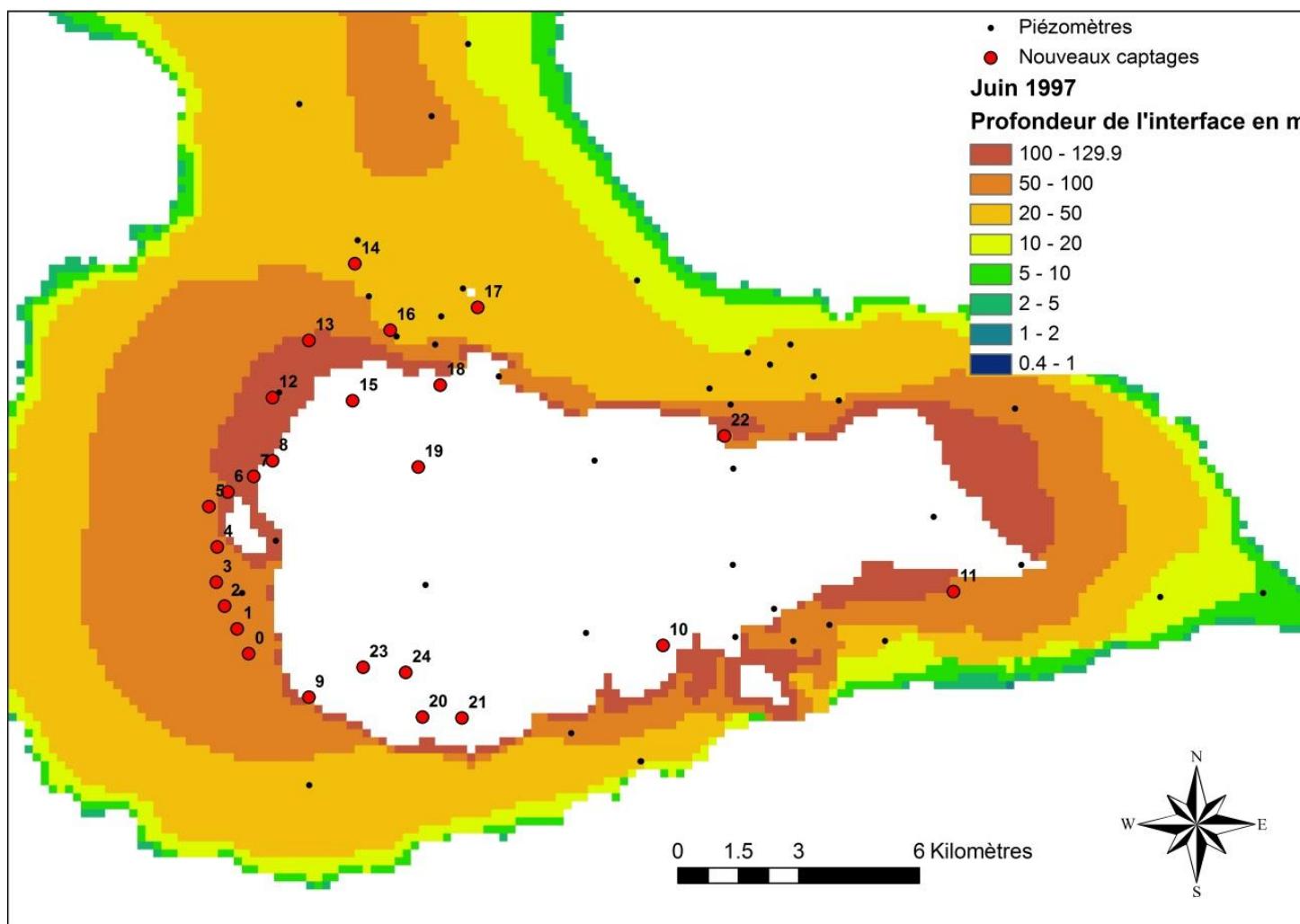


Illustration 47 : Profondeur calculée de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) sur le secteur d'étude pour le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 et 5 de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 sur la période 1985-2005)

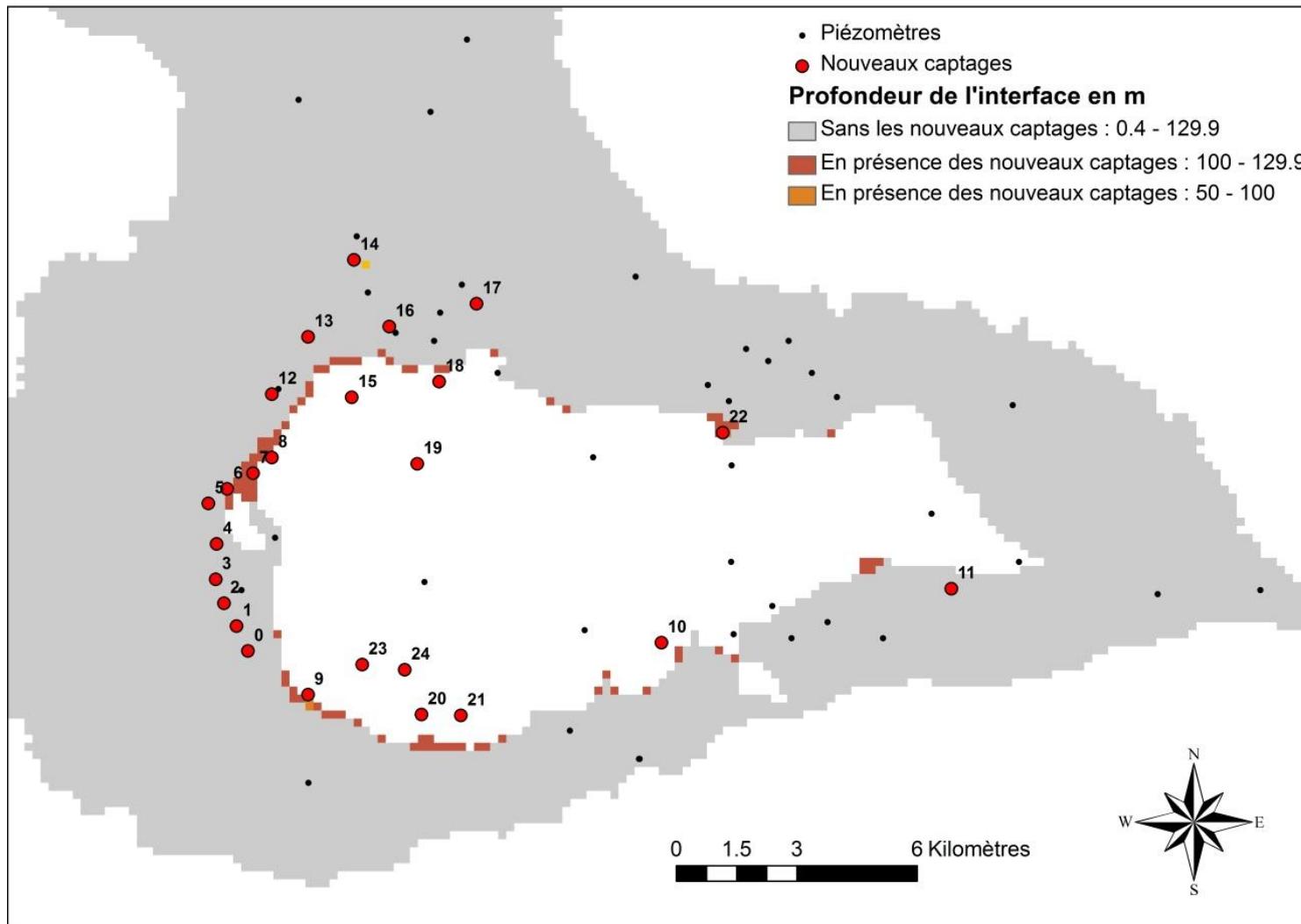


Illustration 48 : Evolution de la profondeur de l'interface eau douce-eau salée (m NGF) induite sur le secteur d'étude par le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 et 5 de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  20h/24 sur la période 1985-2005)

L'Illustration 49 donne la variation de la proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (valeurs obtenues par la soustraction des proportions calculées sans prise en compte des pompages supplémentaires, par celles calculées avec prise en compte des pompages supplémentaires à la date du 27 juin 1997). Elle montre que la mise en exploitation des captages entraîne une augmentation de la proportion d'eau salée dans un rayon de plusieurs km autour des puits pompés. La plaine de Grippon, l'ouest et l'extrême sud des Grands-Fonds (bande étroite au sud des captages n°9, 20, 21, 23 et 24) et les alentours du captage n°11 sont, comme pour le scénario 1, les secteurs les plus affectés par cette salinisation, avec une augmentation supérieure à 5% (par rapport au cas sans pompage supplémentaire). L'extension géographique de ces zones affectées par une augmentation supérieure à 5% est, néanmoins, plus réduite que pour le scénario 1 : 3x1 km et 5x1 km pour la Plaine de Grippon et l'Ouest des Grands-Fonds (contre 6,5x2 km et 6x1 km respectivement dans le scénario 1). Les piézomètres affectés par une augmentation supérieure à 5% restent toutefois les mêmes que pour le scénario 1 ; soit : Boisvin-Abymes, Beausoleil, Berville, Jabrun, Laroche (variation de la proportion d'eau salée de +6% sur ces ouvrages).

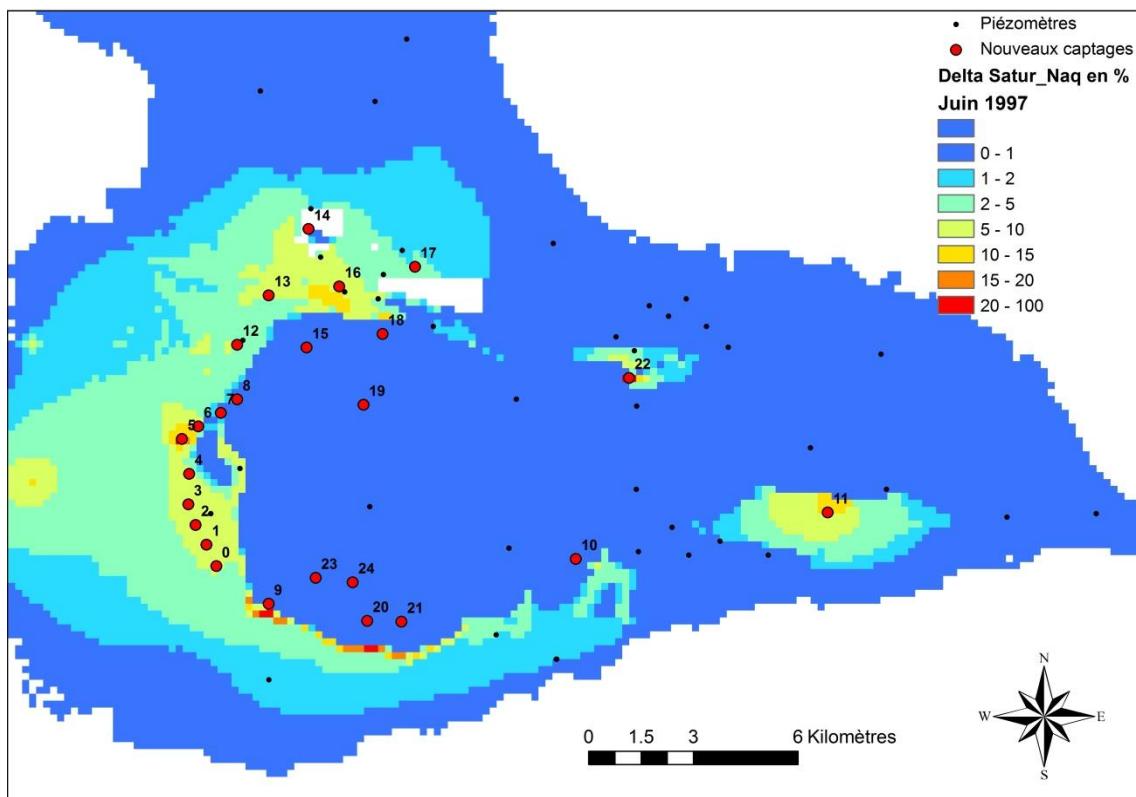


Illustration 49 : Evolution de la teneur en eau salée (en %) sur le secteur d'étude induite par le scénario 2 (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de  $70 \text{ m}^3/\text{h} 20h/24$  et 5 de  $60 \text{ m}^3/\text{h} 20h/24$  sur la période 1985-2005)

Comme précisé dans le scénario 1, la proportion d'eau salée est initialement élevée (sans pompage supplémentaire) sur les pourtours de l'île (cf. Illustration 45). La mise en exploitation des nouveaux captages ne fait qu'accentuer cela autour des puits pompés (Illustration 50). La proportion d'eau salée dans la partie sud du champ captant Sud GT (captages n° 0 à 5) est initialement comprise entre 30 et 50% ; elle n'excède ainsi que localement 55% malgré les nouveaux prélèvements (c'est le cas dans la maille puits n°5 où la valeur calculée atteint 59%). La proportion d'eau salée est initialement nulle autour des nouveaux ouvrages n°20, 21, 23 et 24 (sud des Grands-Fonds), n°10 (champ captant Est GT), n°7, 8, 15, 18 et 19 (champs captant

Sud et Nord GT) ; elle reste ainsi inférieure à 5% malgré les nouveaux prélèvements. La proportion initiale d'eau salée est également nulle au droit des captages n°9 et 22. Toutefois, la remontée du biseau, et ainsi la salinisation des eaux, sont comme pour le scénario 1 plus conséquentes autour de ces deux puits (Illustration 47 et Illustration 48 – profondeur du biseau salé dans la maille puits n°9 inférieure à 70 m) ; la proportion d'eau salée y atteint ainsi respectivement 49 et 22% suite à la mise en exploitation des nouveaux captages (contre 95 et 30% pour le scénario 1).

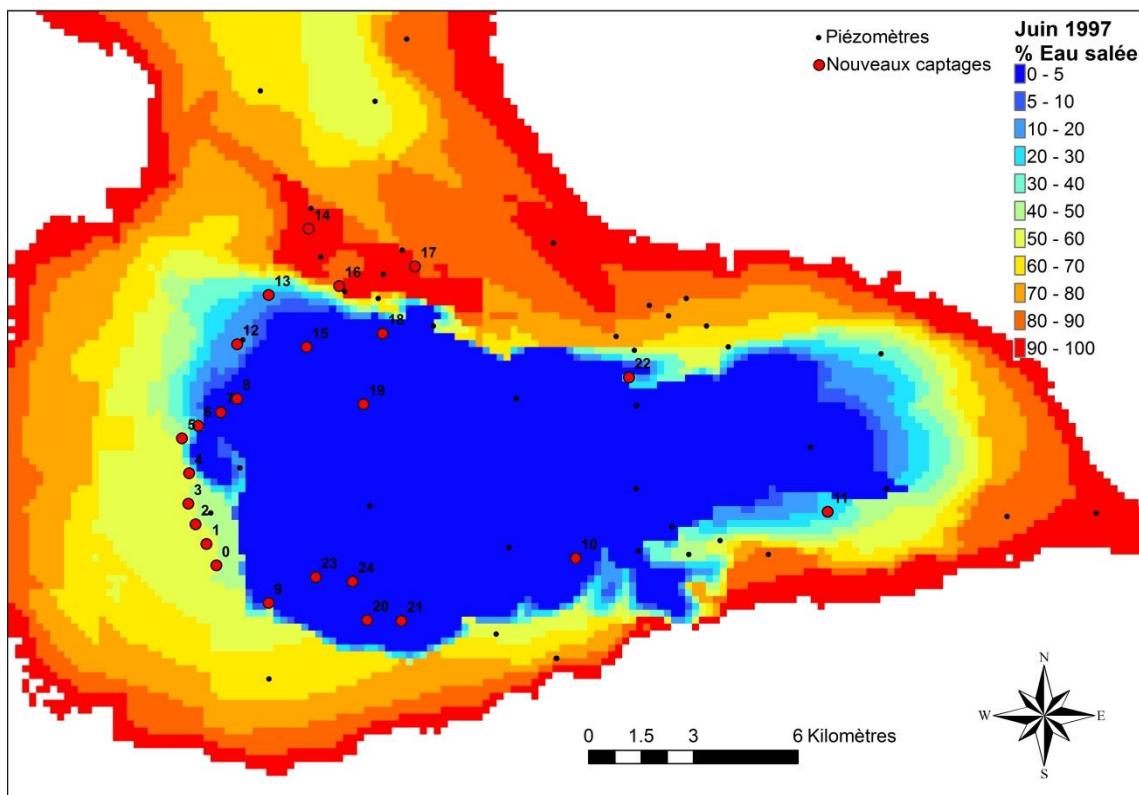


Illustration 50 : Proportion d'eau salée (en %) sur le secteur d'étude (Scénario 2 : 25 prélèvements supplémentaires dont 21 de  $70 \text{ m}^3/\text{h} 20\text{h}/24$  et 5 de  $60 \text{ m}^3/\text{h} 20\text{h}/24$  sur la période 1985-2005)

### c) Bilan des scénarios de tendance à l'échelle de la MESO de Grande-Terre

La réalisation de ces deux scénarios par le biais du modèle hydrodynamique de Grande-Terre permet de démontrer en premier lieu la pertinence d'études hydrogéologiques approfondies pour la définition d'emplacements de nouveaux captages. Le contexte insulaire de la Guadeloupe rend en effet la ressource en eau souterraine particulièrement vulnérable ; les prélèvements excessifs d'eau souterraine par forages peuvent occasionner un déséquilibre de l'interface eau douce- eau salée et générer une intrusion d'eau saline dans les aquifères d'eau douce.

Ainsi, il n'est pas constaté de difficultés particulières au droit du champ captant de l'Ouest Grande-Terre (territoire de Cap Excellence), ni à l'échelle des forages des plateaux de l'est (SIAEAG), territoires pour lesquels des compléments d'études ont déjà été mis en œuvre. Les faibles rabattements générés à l'échelle de la nappe montrent la pertinence du choix des sites d'implantation (Illustration 40 et Illustration 46).

En revanche, les rabattements importants observés pour le champ captant sud Grande-Terre (> 10 mètres localement pour le scénario n° 1) montrent qu'une étude du fonctionnement hydrogéologique de ce secteur en particulier doit être mise en œuvre en vue d'optimiser les sites d'implantation des futurs forages et minimiser les risques de dénoyage des pompes et d'intrusion saline. Ces préconisations sont valables pour le champs captant prévu pour le Nord Grande-Terre bien que la baisse des niveaux d'eau de nappe soit nettement moins marquée.

S'agissant de l'augmentation des teneurs en eau salée dans les eaux souterraines, il est globalement constaté que la mise en exploitation des nouveaux captages engendre une légère accentuation du phénomène dans les zones pour lesquelles la proportion d'eau salée est initialement élevée (+ 5 % d'eau salée environ). Les résultats de simulations ne mettent pas en exergue de cas alarmants.

Enfin, considérant la mise en œuvre de 25 nouveaux captages, l'évolution de la profondeur de l'interface eau douce – eau salée n'apparaît critique pour aucun des sites à l'échelle de l'île (Illustration 41, Illustration 42, Illustration 47 et Illustration 48).

Finalement, sur la base des présentes simulations, la réalisation conjointe des actions prévues dans le SDMEA pour la sécurisation de l'AEP en Grande-Terre ne devrait pas impacter significativement l'état quantitatif et qualitatif de cette ressource en eau. En effet, l'augmentation des besoins en eau potable estimée par le SDMEA à 11,2 millions de m<sup>3</sup>/an en 2021 pour la masse d'eau FRIG001 ne devrait pas poser de problème au vu des volumes de prélèvements simulés (15,3 millions m<sup>3</sup>/an pour le scénario 1 et 12,4 millions m<sup>3</sup>/an pour le scénario 2). La conduite d'études hydrogéologiques est en revanche fortement préconisée sur les secteurs non investigués à ce jour, afin de cibler les sites à forer préférentiellement.

### 3.3. AUTRES SCENARIOS D'EVOLUTION POTENTIELS A L'HORIZON 2021

Pour chaque pression recensée au paragraphe 2.1, un scénario tendanciel d'évolution de la pression est réalisé par le prestataire (Asconit-Pareto), ce chapitre fournit une synthèse de ces résultats. L'objectif de la définition d'un scénario est de préciser les tendances d'évolution des pressions aux fins d'une évaluation de leurs impacts probables sur l'état des masses d'eau, le lien entre pression et impact ayant été établi au chapitre 2.2. Ces informations sont ensuite comparées aux tendances observées sur les données existantes.

#### 3.3.1. Aspect quantitatif

Le Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement (SDMEA) a défini les hypothèses retenues ainsi que les grandes orientations en matière de gestion de l'eau à l'horizon 2020 :

- hypothèses : stabilité des dotations hydriques (consommation totale par habitant desservi), croissance annuelle de la population de 0,5% ;
- atteindre un rendement de 65% pour les réseaux AEP ;
- satisfaire les besoins, sous entendue la demande en eau, correspondant à une situation de carême sec (la notion de « carême sec » se définit ici par une période sèche de période de retour 5 ans, correspondant au QMNA5 des cours d'eau).

Le scénario d'actions retenu par le SDMEA conduit à :

- développer les ressources en eau souterraine,
- mettre en œuvre des retenues d'eaux brutes.

Le Tableau 41 présente les prélèvements supplémentaires prévus par le SDMEA dans les eaux souterraines par le biais de forages pour l'AEP.

Secteur du SDMEA	code MESO	Prélèvements supplémentaires pour l'Eau Potable (m <sup>3</sup> /j)
Basse Terre Sud-Est	FRIG003	15 000
Basse-Terre Centre	FRIG006	6 500
Basse-Terre Nord	FRIG006	5 000
Basse-Terre Ouest	FRIG006	3 000
Basse-Terre Ouest	FRIG003	6 000
secteurs de Grande Terre	FRIG001	30 600
Marie Galante	FRIG002	4 300

Tableau 41 : Prélèvements AEP supplémentaires d'après le SDMEA (Asconit-Pareto)

Le volume total journalier s'élève à 70 400 m<sup>3</sup>/j, volume ramené par masse d'eau souterraine et annuel (Tableau 42) :

code MESO	Prélèvements supplémentaires pour l'Eau Potable (m <sup>3</sup> /an)
FRIG001	11 150 000
FRIG002	1 550 000
FRIG003	7 650 000
FRIG006	5 300 000

Tableau 42 : Prélèvements supplémentaires par MESO d'après le SDMEA (Asconit-Pareto)

En partant de l'hypothèse de la « stabilisation des dotations hydriques », le prestataire Asconit-Pareto estime que la recharge des nappes de Grande-Terre et Marie-Galante sera équivalente en 2021 à la recharge actuelle.

La lame d'eau moyenne participant à la recharge des nappes de Basse-Terre est estimée à 945 mm/an, ce qui donne pour la masse d'eau de l'ensemble volcanique du sud Basse-Terre (FRIG003) une recharge approximative de 160 millions de m<sup>3</sup>, et 640 millions de m<sup>3</sup> pour la masse d'eau de l'ensemble volcanique du nord Basse-Terre (FRIG006).

Les taux de prélèvements à l'horizon 2021 sont donnés dans le Tableau 43.

Code MESO	Volume prélevé estimé en 2021 (m <sup>3</sup> )	Recharge annuelle (m <sup>3</sup> )	Taux de prélèvement
FRIG001	15 800 000	170 000 000	9%
FRIG002	2 200 000	8 000 000	28%
FRIG003	7 650 000	160 000 000	5%
FRIG006	5 300 000	640 000 000	1%

Tableau 43 : Indicateurs de pression de prélèvement à l'horizon 2021 (Asconit-Pareto)

Il est important de rappeler que ces taux de prélèvement ne tiennent pas compte de la consommation nette par masse d'eau et par conséquent du volume retournant dans le milieu. Les taux de prélèvement indiqués ici sont donc surestimés.

Même si la totalité des nouveaux forages prévus par le SDMEA sont mis en œuvre d'ici 2021, les taux de prélèvements restent relativement faibles pour les masses d'eau souterraine. La nappe de Marie-Galante est la seule à présenter un taux de prélèvement supérieur à 10% : 28%, ce qui reste admissible.

Cependant, ces taux globaux de prélèvement à l'échelle d'une masse d'eau sont assez peu représentatifs quand les masses d'eau souterraine sont composées d'un ensemble de nappes locales non connectées entre elles, comme c'est le cas sur la Basse-Terre (FRIG003 et FRIG006). De plus les analyses plus fines ont montré l'existence localement de pressions qui peuvent entraîner une augmentation de l'intrusion saline (FRIG001).

### 3.3.2. Aspect qualitatif

#### a) Assainissement

L'estimation de la pollution future rejetée par les dispositifs d'assainissement a été présentée dans le SDMEA de Guadeloupe et réalisée en considérant successivement la population future en 2015 et en 2020. Pour cela, deux hypothèses ont été prises en compte :

- en conservant le taux de raccordement actuel ;
- en considérant une hausse de taux comme prévu dans le cadre des Schéma Directeur d'Assainissement.

Dans le cas d'une hausse du taux de raccordement, la proportion d'assainissement collectif augmente. En considérant un faible taux d'accroissement démographique en Guadeloupe comme préconisé par l'INSEE, la pollution rejetée dans les différents hydrosystèmes devrait logiquement être moins importante en 2021.

Le Tableau 44 et Tableau 45 et l'Illustration 51 présentent l'évolution de la pollution en DBO5 rejetée dans chaque masse d'eau pour chacune des deux hypothèses.

Code MESO	DBO5 2010 total	estimation DBO5 2015	estimation DBO5 2020	Evolution 2010-2020
<b>FRIG001</b>	<b>4122,7</b>	4358,6	4527	10%
<b>FRIG002</b>	<b>1683,3</b>	1667,1	1655,6	-2%
<b>FRIG003</b>	<b>5608,3</b>	5711,5	5785,2	3%
<b>FRIG006</b>	<b>6186,5</b>	6563,1	6832	10%
<b>Total</b>	<b>17600,8</b>	<b>18300,3</b>	<b>18799,8</b>	<b>7%</b>

Tableau 44 : Synthèse de l'évolution de la pollution (DBO5 en kg/jour) suivant l'hypothèse du raccordement actuel (Asconit-Pareto)

Code MESo	DBO5 2010 total	estimation DBO5 2015-SDA	estimation DBO5 2020-SDA	Evolution 2010-2020
<b>FRIG001</b>	<b>4122,7</b>	2011,2	2268,7	-45%
<b>FRIG002</b>	<b>1683,3</b>	681,9	666,4	-60%
<b>FRIG003</b>	<b>5608,3</b>	4289,3	4401,7	-22%
<b>FRIG006</b>	<b>6186,5</b>	4619,2	4979,3	-20%
<b>Total</b>	<b>17600,8</b>	<b>11601,6</b>	<b>12316,1</b>	<b>-30%</b>

Tableau 45 : Synthèse de l'évolution de la pollution suivant l'hypothèse d'une hausse du taux de raccordement (Asconit-Pareto)

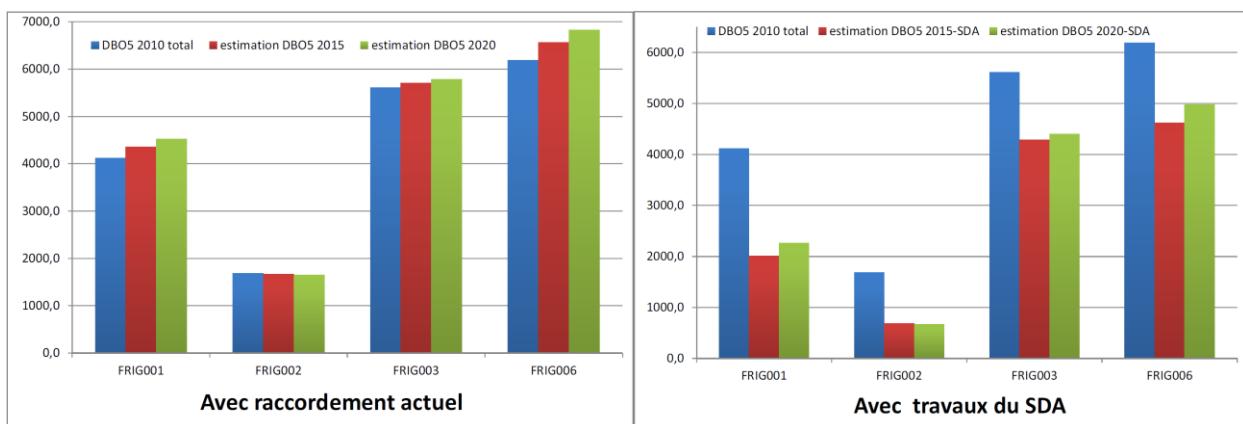


Illustration 51 : Evolution de la pollution en DBO5 entre 2010 et 2020 selon les 2 hypothèses (Asconit-Pareto)

Pour les masses d'eau souterraines, en 2020, en conservant le même taux de raccordement qu'en 2010, la pollution en DBO5 augmenterait de 7%.

Dans le cas d'une hausse du taux de raccordement, la pollution des masses d'eau souterraines baisserait globalement de 30%. Toutes les masses d'eau seraient concernées par cette baisse de la DBO5.

Comme aucun impact de la pression assainissement sur les eaux souterraines n'a pu être démontré à l'échelle des MESO il reste très difficile d'estimer si la qualité des eaux souterraines pourrait évoluer à l'horizon 2021 dans le cas défavorable d'une augmentation de la population sans amélioration du taux de raccordement.

## b) Agriculture

### 1) Les pesticides

Selon les prochaines actions prévues dans la réduction de l'usage des phytosanitaires, les émissions de pesticides diminueront de manière significative à l'horizon 2021. Ainsi, plusieurs actions sont mises en œuvre :

- la loi n° 2014-110 du 6 février 2014 visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national indique dans son article 1 qui rentre en vigueur le 1er janvier 2020 qu'il est interdit aux personnes publiques mentionnées à l'article L. 1

du code général de la propriété des personnes publiques d'utiliser ou de faire utiliser les produits phytopharmaceutiques à l'exception des produits de bio-contrôle, des produits à faible risque et des produits autorisés en agriculture bio, pour l'entretien des espaces verts, des forêts ou des promenades accessibles ou ouverts au public et relevant de leur domaine public ou privé" ;

- la mise en place du Plan Ecophyto 2018 vise à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires agricoles comme non agricoles. Différents axes débouchant sur de nombreuses actions sont mises en place : incitation à l'adoption de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement, promotion de pratiques permettant de limiter les transferts de pollutions diffuses (bandes enherbées, etc.), mise en place des filières pérennes de gestion des intrants agricoles en fin de vie, collecte des emballages vides de produits phytosanitaires. Même si l'objectif de réduction de 50% des émissions de produits phytosanitaires ne sera pas atteint, la réduction sera réelle ;
- l'arrêté n° 2011-1489 portant sur les règles relatives aux bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE) des terres du département de la Guadeloupe impose la mise en place et l'entretien de bandes tampons, la lutte contre l'érosion des sols et le maintien des particularités topographiques ;
- en cas de risque exceptionnel, l'article 4 de l'arrêté du 12 septembre 2006 sur l'utilisation des produits phytopharmaceutiques prévoit qu'un arrêté préfectoral peut être pris pour restreindre ou interdire l'utilisation de produits phytosanitaires ;
- une prise de conscience générale de la nécessité d'un usage raisonné des produits phytosanitaires devant les conséquences sanitaires et économiques de la pollution par la chlordécone.

Bien que certaines masses d'eau présentent des teneurs en pesticides détectables et dépassant les normes de manière ponctuelle, aucune substance ne présente de tendance à la hausse selon l'analyse statistique. En considérant un changement des pratiques agricoles, ces teneurs devraient continuer à diminuer dans les prochaines années. A l'exception toutefois des problèmes de dépassement de normes lié à des pratiques anciennes notamment la chlordécone sur la masse d'eau FRIG003. Cette masse d'eau pourrait être toujours en mauvais état vis-à-vis des pesticides en 2021.

## 2) Composés azotés

Les émissions d'azote en tant que fertilisants vont également baisser pour les mêmes raisons que la diminution de l'usage des pesticides :

- par la mise en place de pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement ;
- par la diminution des surfaces agricoles. En effet, selon la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Guadeloupe (DAAF), entre 2000 et 2010, la Superficie Agricole Utilisée (SAU) est passée de 41622 ha à 31768 ha soit une baisse annuelle d'environ 1000 hectares par année et actuellement, cette tendance se poursuit;
- par le remplacement de cultures assez fortement consommatrices de fertilisants (banane, canne) par des cultures moins demandeuses. La DAFF de Guadeloupe indique par exemple, que le nombre de champ de bananes est passé de plus de 600 à 400 entre 2000 et 2010. Toutefois ceci est à considérer avec beaucoup de précaution. En effet, si ces nouvelles cultures sont prévues pour l'exportation, elles seront

génératrices de contaminants, principalement vis-à-vis de l'utilisation de produits phytosanitaires. Par ailleurs, du point de vue des nitrates, les contaminations les plus fortes observées en Métropole sont souvent liées à des cultures maraîchères telles que les tomates, melons... Ceci impliquant donc de grandes précautions et un contrôle adapté à la mise en place de ces nouvelles cultures.

Les émissions d'azote dues à l'élevage vont également baisser au vu de la diminution régulière du nombre de têtes de bétails observée depuis 2000. Cette baisse concerne presque toutes les catégories de bétail : 3 à 4% par an pour les bovins, caprins, ovins, porcins ; stabilité pour les volailles.

Selon l'analyse statistique, seul un point situé en Grande-Terre (1141ZZ0019/P Duchassaing) présente pour les nitrates une tendance à la hausse depuis ces dernières années. Bien que les scénarios prévoient une diminution des émissions d'azote d'origine agricole, ce point est à surveiller en raison de son approche de la valeur seuil (30 mg/L). D'autre part l'origine des nitrates à ce point n'a pas été définie. Le lien avec l'industrie de la canne (distillerie) ne peut pas être écarté à ce stade de l'étude. Pour les autres masses d'eau bassin Guadeloupe, aucune tendance n'est à signaler.

### **c) *Les rejets industriels***

#### **1) Filière canne**

Au vu des efforts menés depuis 10 ans dans la réduction de la pollution organique rejetée par la filière (97,5%), il est fort probable que la pollution émise ne va pas beaucoup changer au cours des dix prochaines années. La mise en conformité dans les prochaines années de la sucrerie SRMG de Marie-Galante, de la distillerie Montebello et de la distillerie Poisson devrait permettre de réduire les derniers rejets effectués dans le milieu récepteur.

#### **2) Centrales thermiques**

Depuis le milieu des années 80, la consommation d'énergie électrique ne cesse de croître. Durant la période 2000-2008, elle a progressé en Guadeloupe de 35,6% soit un rythme annuel de 3,9% (INSEE, 2009). Si les rejets des établissements sont corrélés aux besoins énergétiques, il est fort probable que ces derniers vont suivre une tendance à la hausse.

Le manque de données ne permet pas de conclure quant à l'évolution des rejets industriels issus des centrales électriques, toutefois il faut noter que pour la centrale électrique EDF Jarry Nord, la pollution rejetée a triplé en deux ans, passant de 545 EH à 1600 EH (Illustration 52), alors que le seuil autorisé par les services de l'Etat est de 468 Equivalents Habitants. Il est prévu une fermeture de ce site en 2014.

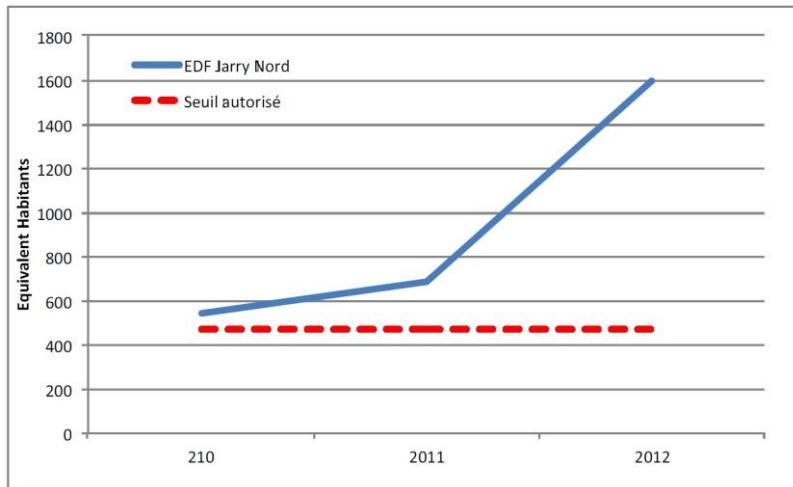


Illustration 52 : Evolution de la pollution (EH) sur le site de Jarry Nord (Asconit-Pareto)

Aucun lien n'a pu être établi entre la pression ponctuelle « centrales thermiques » et l'impact sur les eaux souterraines.

### 3) Décharges

De nombreux arrêtés préfectoraux établis entre 2008 et 2010 obligent la réhabilitation de la plupart des décharges de Guadeloupe avec, pour certaines d'entre elles, une fermeture définitive. En 2013, onze décharges sont complètement fermées dont trois ont fait l'objet d'une réhabilitation terminée et trois autres sont en cours de réhabilitation.

Deux décharges (La Désirade et La Gabarre) sont autorisées provisoirement. Seules les décharges de Saint-Martin (arrêté du 08/12/2011) et de SITA Espérance (arrêté préfectoral du 08/11/2008) sont autorisées à fonctionner. Pour l'ancienne décharge de Sainte-Rose (dans l'emprise de SITA Espérance) il y a obligation de réhabilitation.

La Gabarre sera très certainement fermée d'ici 2-3 ans (2016 maximum), du fait de la durée de vie des alvéoles mises en place, avec un transfert des déchets en partie sur le centre de stockage de SITA Espérance, une meilleure utilisation des filières de valorisation et la mise en place d'une plateforme multi-filières ainsi qu'un incinérateur.

En conclusion, il apparaît que les décharges officielles de Guadeloupe sont dans une phase de réhabilitation, soit terminée d'ici 2014 pour huit d'entre elles, soit d'ici 2016 pour les autres. La fermeture de la plus grosse décharge de Guadeloupe (La Gabarre) d'ici 2015-2016 va constituer aussi une diminution importante de l'impact sur le milieu récepteur à moyen et long terme.

### 4) Carrières

Le Schéma Départemental des Carrières (SDC) révèle une volonté de fonctionner uniquement avec les carrières en activité (+ extension si besoin) ou de réutiliser celles en « jachère ». Aucune zone nouvelle et « vierge » ne sera utilisée. Concernant les volumes, ils seront identiques pendant 30 ans.

L'évolution du nombre des carrières sera en légère diminution puisque certaines d'entre elles (celles de tuf calcaires) arrivent à date d'échéance en 2014-2015. Les pressions engendrées par les carrières resteront stables, voire diminueront, au cours du prochain cycle de gestion.



## 4. Conclusion

Dans le cadre de l'état des lieux des masses d'eau du bassin Guadeloupe, le volet « **analyse des impacts des activités humaines sur l'état des eaux** » fait suite à l'évaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe (BRGM/RP-62685-FR). Cette analyse des liens pressions-impacts-états concernent cinq masses d'eau : Grande-Terre (FRIG001) ; Marie-Galante (FRIG002) ; Sud Basse-Terre (FRIG003) ; la Désirade (FRIG004) ; Nord Basse-Terre (FRIG006). La masse d'eau de Saint-Martin (FRIG005) n'est que partiellement prise en compte dans cet état des lieux du fait d'un manque de données. Certains points ont toutefois été traités à dire d'expert.

**Quatre types de pressions** ont été **recensés** sur l'ensemble du bassin Guadeloupe. Il s'agit des pressions :

- **prélèvements** ;
- d'origine **agricoles** : incluant les pressions des pesticides et les pressions azotées ;
- d'origine **urbaine** : impliquant principalement l'assainissement (collectif et non collectif) ;
- d'origine **industrielle**.

L'analyse des pressions existantes sur le bassin Guadeloupe et les impacts en découlant, ont révélé que les **pressions « prélèvements » et « agricole » sont, selon les masses d'eau souterraine du bassin, significatives, avec un impact quelques fois avéré.**

A l'échelle de la **masse d'eau souterraine de Grande-Terre (FRIG001)**, la **pression « prélèvement »** est telle qu'elle engendre, de manière localisée, une amorce d'intrusion saline au droit d'un captage AEP en particulier. **Les pressions « azotées » et « pesticides », en liaison avec l'agriculture, sont significatives sur les eaux souterraines et entraînent en quelques points un impact se traduisant par une dégradation de la qualité physico-chimique de la ressource en eau souterraine.** Les **masses d'eau souterraine de Grande-Terre (FRIG001) et Marie-Galante (FRIG002)** sont impactées par des pressions d'origines agricoles. L'impact se traduit plus spécifiquement par la **présence ponctuelle et temporelle de molécules phytosanitaires** dans les points d'eau suivis. Enfin, la **masse d'eau souterraine du sud Basse-Terre (FRIG003)** est elle aussi marquée par l'impact de l'agriculture (présence de pesticides dans les eaux souterraines).

La **présence avérée des pesticides et de composés azotés** est due aux **cultures de bananes et de canne à sucre**, agricultures dominantes du bassin Guadeloupe constituant une part importante de l'économie locale. Concernant les prélèvements, compte tenu du **taux de prélèvement** relativement faible (environ 3%) sur la masse d'eau de Grande-Terre, la **pression est ici considérée comme modérée**. Cependant, au vu du contexte insulaire et de la vulnérabilité intrinsèque forte localement identifiée, la **pression « prélèvement »** engendre un **impact fort dans le secteur des plateaux du Nord** où le risque d'intrusion saline est exacerbé.

Les données sur les **contaminations par les métaux lourds** concernant principalement des **captages AEP** (contrôle sanitaire et Réseau de Contrôle de Surveillance). Leur présence dans les eaux souterraines est généralement d'origine industrielle, agricole (de par la fertilisation des

sols et l'élevage) ou naturelle (fond géochimique) ; mais l'origine de l'impact des pollutions ponctuelles est, dans les cas présents, difficilement définissable. En effet, **la délimitation du bassin d'alimentation d'un captage** (ou délimitation en surface de la portion de nappe alimentant un captage donné) permet d'estimer si la pression est susceptible d'impacter ou non l'ouvrage de prélèvement. Sans la connaissance de ces délimitations, il est alors **complexe de statuer sur l'origine de la contamination de ces captages**.

L'**étude des tendances** a été réalisée par **traitement statistique** (outil HYPE), à l'aide de différentes méthodes. Les données chimiques traitées sont issues de la banque de données ADES. Les calculs statistiques de tendances sont à considérer avec prudence, certaines chroniques possédant trop peu de données pour un traitement statistique fiable.

D'un point de vue **qualitatif**, selon le traitement statistique aucune tendance à la hausse n'est observée pour les pesticides depuis ces dernières années. Cependant, les données issues de la surveillance DCE montrent que **des détections et dépassements de molécules rémanentes telles que les organochlorés sont récurrents**. C'est également le cas de molécules récemment importées sur le territoire guadeloupéen. Du point de vue des scénarios de tendance, des programmes destinés à restreindre l'usage des phytosanitaires existent et devraient permettre, à terme, **une réduction des teneurs en pesticides dans les eaux souterraines**. Néanmoins, la surveillance étroite des masses d'eau à risque ou en doute doit être maintenue pour suivre l'évolution des contaminations.

Concernant les **nitrates**, un point en Grande-Terre (Duchassaing - 1141ZZ0019/P) présente une évolution croissante. **Sur la masse d'eau de Grande-Terre, la modification des pratiques agricoles et la diversification des cultures** réalisées dans des conditions optimales de contrôle de fertilisation pourraient contribuer à la diminution de l'usage des fertilisants et donc de **l'impact des nitrates sur les eaux souterraines**.

S'agissant de la **pression « prélèvements »** et l'impact de l'intrusion saline, à l'exception du captage de Charropin (1135ZZ0069/S) situé dans le nord Grande-Terre, **l'augmentation de la concentration en chlorure n'apparaît pas problématique à l'échelle de la masse d'eau FRIG001**.

Sur le plan **quantitatif**, une **simulation de deux scénarios d'exploitation incluant 25 nouveaux forages a été réalisée avec le modèle hydrodynamique de Grande-Terre**. Ces 25 forages ont été répartis, selon les projets inscrits au SDMEA de l'Office de l'Eau Guadeloupe, sur les quatre ensembles morpho-structuraux de la Grande-Terre. Ces simulations ont confirmé la sensibilité du système aquifère de la Grande-Terre à l'intrusion saline, notamment dans le nord Grande-Terre et le sud Grande-Terre où les rabattements, localement supérieurs à 10 m, montrent un risque de dénoyage des pompes et d'intrusion d'eau salée. Concernant la salinisation à proprement parlé, l'exploitation des nouveaux captages pourrait engendrer une légère accentuation du phénomène dans les zones pour lesquelles la proportion d'eau salée est initialement élevée (+ 5 % d'eau salée environ). Cependant, **l'interface eau douce-eau salée quant à elle ne présente pas d'évolution risquée à l'échelle des champs captants** sur l'ensemble de l'île.

Finalement, sur la base de résultats de la simulation, la réalisation des actions prévues dans le SDMEA pour la sécurisation de l'AEP en Grande-Terre **ne devrait pas impacter l'état**

**quantitatif de la ressource en eau souterraine de la Grande-Terre.** La conduite d'études hydrogéologiques est toutefois fortement préconisée sur les secteurs non étudiés à ce jour, afin de cibler les sites à forer préférentiellement.

Les relations pression - impact – état, mises en évidence actuellement sur les MESO du bassin Guadeloupe dans le cadre de cette étude ainsi que les réflexions menées sur les scénarios tendanciels serviront de support à la **définition du Risque de Non Atteinte des Objectif Environnementaux à l'horizon 2021** prévu dans le cadre du volet final de cette révision de l'état des lieux (cf. rapport BRGM/RP-63849-FR).



## 5. Bibliographie

**ACTA (2008)** - Index Phytosanitaire 2008. Paris ; Association de Coordination Technique Agricole. 844p.

**Agreste (2013)** - Guadeloupe - Résultat 2011. Direction de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt. Mémento Agricole. 2p.

**Allier D., Vittecoq B., Mardhel V. (2008)** – Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique. BRGM/RP-56283-FR.

**ASCONIT Consultants & PARETO Ecoconsult (Avril 2014)** – Révision de l'état des lieux du district hydrographique comprenant la Guadeloupe et Saint-Martin. Lots 2, 3 et 4 – Evaluation de l'état des masses d'eau, des pressions et de leurs scénarios tendanciels d'évolution, ainsi que du RNAOE 2021.

**Bakker, H. (1999)** - Sugar Cane Cultivation and Management. New York, Springerp.

**Balland M., Mestres, R., Fagot, M. (1988)** - Rapport sur l'évaluation des risques liés à l'utilisation de produits de produits phytosanitaires en Guadeloupe et en Martinique. MATE, MAPE. 96p.

**Bezelgues S. et al. (2002)** - Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante. Phase 1: méthodologie de détermination de la vulnérabilité. RP-51783-FR.

**Bezelgues S. et al. (2005)** - Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). Phase 3. Rapport final. RP53456-FR.

**Bezelgues S. et al. (2006)** - Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). Phase 4. Rapport final. RP-54339-FR.

**Bézèlques S. et Amraoui N., avec la collaboration de Y.M. Le Nindre** (2006) – Collecte et préparation des données en vue de la modélisation hydrodynamique des écoulements souterrains en Grande-Terre. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54709-FR.

**Brenot A., Allier D., Dumon A. (2008)** – Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Guadeloupe (rapport BRGM/RP-55709-FR).

**Bonan, H., Prime, J.-L. (2001)** - Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. 86p.

**CA Martinique (2007a)** - Fiche technique - Banane (export). Cultures tropicales. 2p.

**CA Martinique (2007b)** - Fiche technique - Canne à sucre. Cultures tropicales. 2p.

**CA Réunion (2013)** - Deux nouveaux herbicides homologués. La Réunion Agricole 13: 16-17.

**Comité de Bassin de la Guadeloupe** – SDAGE 2010-2015. Cahiers 1 à 5.

**Corbier P., Mardhel V. (2003)** – Carte de vulnérabilité simplifiée des bassins versants de la région Pays de la Loire – Rapport final BRGM/RP-53106-FR, 102 p., 44 ill., 4ann.

**Danielles, J., Amour, J. (1996)** - Managing Crop Nutrition in banana production.

**DARMENDRAIL.D., CALLIER.L., CHARBONNIER.C., BARBIER.J., MOSSMANN.J.R. (1997)** - Gestion des sites (potentiellement) pollués. Test de la méthode nationale d'évaluation simplifiée des risques. Rapport de synthèse. BRGM/RR-38980-FR.

**Devenoges Q. (2013)**. Cartographie de l'interface eau douce – eau salée en Grande-Terre. Secteurs des Plateaux du Nord et de l'Est. Diagrammes de conductivité électrique en forage (phase 2). Rapport intermédiaire. BRGM/RP-62694-FR, 39 p., 23 ill., 17 tabl., 2 ann.

**Ducreux, L., Surdyk, N., Devenoges, Q. (2013)**. Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Guadeloupe dans le cadre de la révision de l'état des lieux de 2013. Rapport final. Rapport BRGM, RP-62685-FR. 63 p., 16 ill., 7 ann.

**Dumon, A., Roques, C. (2009)**. Bilan de la contamination par les produits phytosanitaires des eaux superficielles et souterraines de Guadeloupe: données de 1996 à 2008. Rapport BRGM, RP- 57756-FR. 186p.

**Dumon, A., Vittecoq, B., Allier, D., Mougin, B., Ladouche, B. (2009)** - Contribution à l'évaluation de la ressource en eau souterraine de la Basse-Terre. Guadeloupe. Rapport BRGM/RP-56821-FR.

**E-phy (2014)** - "Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France." Retrieved 03/03/2014.

**Fournier, G. (2007)**. Usages mineurs, état des lieux et perspectives. Phytosanitairement Votre 16 (édition Antille): 4.

**Galan, F., Julien, L., Duflot, B. (2008)**. Panorama des filières animales et typologie des systèmes d'exploitation avec élevage de Guadeloupe. Institut de l'élevage. 63p.

**Gourdol et al. (2004)** - Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante. (Guadeloupe). Phase 2. Rapport final. RP-52677-FR

**GUIDE POUR LA MISE A JOUR DE L'ETAT DES LIEUX**, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement Direction de l'Eau et de la Biodiversité. Directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Article L. 212-1 II du code de l'environnement - Mars 2012

**GUIDE D'EVALUATION DE L'ETAT QUANTITATIF DES MASSES D'EAUSOUTERRAINE**, Annexe V de la circulaire DEVL1227826C relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 – Septembre 2012

**Hatilissn, E. (2007)**. L'entretien de la canne à sucre. Canne info- Lettre d'information du CTCS de la Guadeloupe N°17: 4.

**Hamm V., Thiery D., Amraoui N., Bézègues-Courtade S. (2007)** – Modélisation hydrodynamique diphasique des écoulements souterrains de Grande-Terre. BRGM/RP-55039-FR.

**IT2 (2011).** Manuel du planteur de banane de guadeloupe de martinique. Institut Technique Tropical. 30p.

**Laboubee, C., Bochu, J.-L., Leplay, S., Duval, L. (2013)** - Performance energetique des exploitations agricoles dans les dom, ADEME: 153.

**Laurent, D. (2011a)** - De la canne au sucre et au rhum. Agreste. Primeur 256. 4p

**Laurent, D. (2011b)** - La banane, un pilier de l'agriculture des Antilles. Agreste Primeur 262: 4.

**Lopez B., Laurent A., Ghestem J.P. et al. (2013)** – Recherche de contaminants organiques dans les eaux souterraines des DOM – Synthèse des travaux 2012-2013. BRGM/RP-62810-FR. 125p, 67 illustrations, 8 annexes

**Lopez, B., Croiset, N., Surdyk, N., Brugeron, A. (2013)** - Développement d'outils d'aide à l'évaluation des tendances dans les eaux souterraines au titres de la DCE. Rapport BRGM, RP-61855-FR. 93p

**Office de l'Eau Guadeloupe (Juillet 2010)** – Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement, Volet Eau Potable – Phase 1 :Etat des lieux. 292 p., 6 ann. Réalisation par le groupement SAFEGER/ANTEA/SCP/ISL.

**Office de l'Eau Guadeloupe (Août 2010)** – Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement, Volet Eau Potable-Irrigation – Phase 2 : Bilan ressource/Besoins. 351 p., 12 ann. Réalisation par le groupement SAFEGER/ANTEA/SCP/ISL.

**Office de l'Eau Guadeloupe (Juin 2011)** – Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement, Volet ressource. Phase 3 : Schéma Départemental. 215 p., 6 ann + Fiches actions. Réalisation par le groupement SAFEGER/ANTEA/SCP/ISL.

**Office de l'Eau Guadeloupe (Juin 2011)** – Schéma Départemental Mixte Eau et Assainissement, Volet Assainissement. Phase 3 : Schéma Départemental. 146 p., 2 ann. Réalisation par le groupement SAFEGER/ANTEA/SCP/ISL.

**Pinson S, Vittecoq B, Allier D, Mardhel V, (2008)** - Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : synthèse cartographique. BRGM/RP-56242-FR.

**Pouzet, D., Velle, A., Rassaby, A. (2001)** - Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre, Bilan des études menées au cours des campagnes sucrières 2000 et 2001 sur l'île de La Réunion. CIRAD-CA- Programme CAS-Pôle Canne à Sucre. 14p

**PROCEDURE D'EVALUATION DU BON ETAT CHIMIQUE DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE**, Version 3 – 17 juillet 2009.

**Surdyk, N., Gutierrez, A., Gourcy, L., Lamotte, C. (2011)** - Réduction de l'apport azotée dans les Aires d'Alimentation des Captages AEP de la plaine de Mauguio. Approche par modélisation BICHE Rapport BRGM, RP-59917-FR 118p

**Thiery D. (1991)** – Logiciel MARTHE, Modèle hydrodynamique tridimensionnel. Modélisation d'Aquifère par un maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements. Version 4.3. Rapport BRGM/RR-32210-FR.

**V. Mardhel et S.Pinson avec la collaboration de J-Y. Koch-Mathian (2008)** – Analyse de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines autour des sites BASOL du bassin Adour-Garonne – BRGM/RP-56593-FR. 87 p., 2 ann., 19 fig.

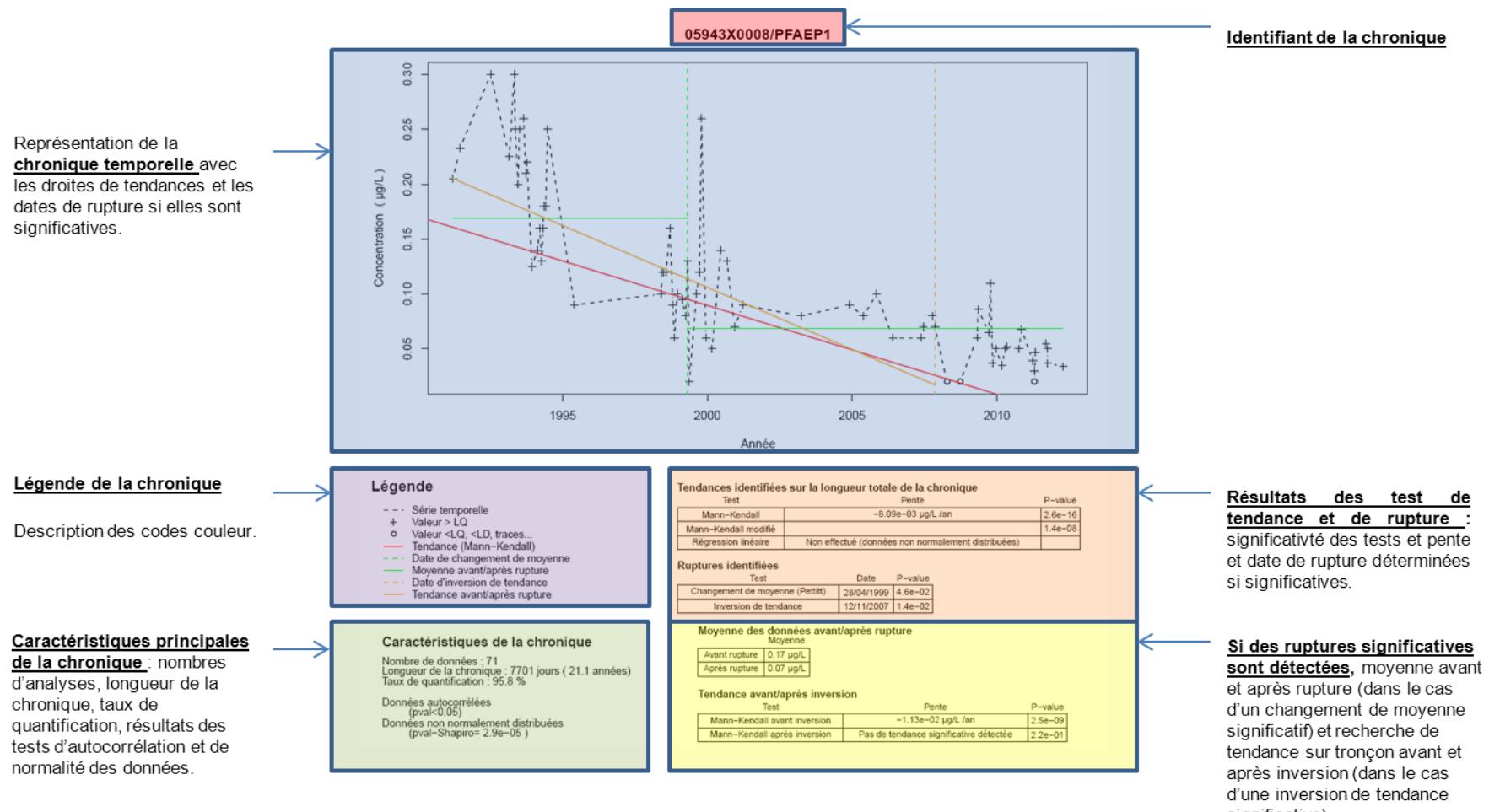
**Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007)** - Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Guide méthodologique, rapport BRGM/RP-55874-FR, 75 pages, 14 illustrations

**Wang , W., Moody, P., Reeves, S., Salter, B., Dalal, R.** (2008). Nitrous oxide emissions from sugar cane soils: effects of urea forms and application rate. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists (30): 87-94.

## Annexe 1

### **Description d'une sortie graphique obtenue avec l'outil HYPE**





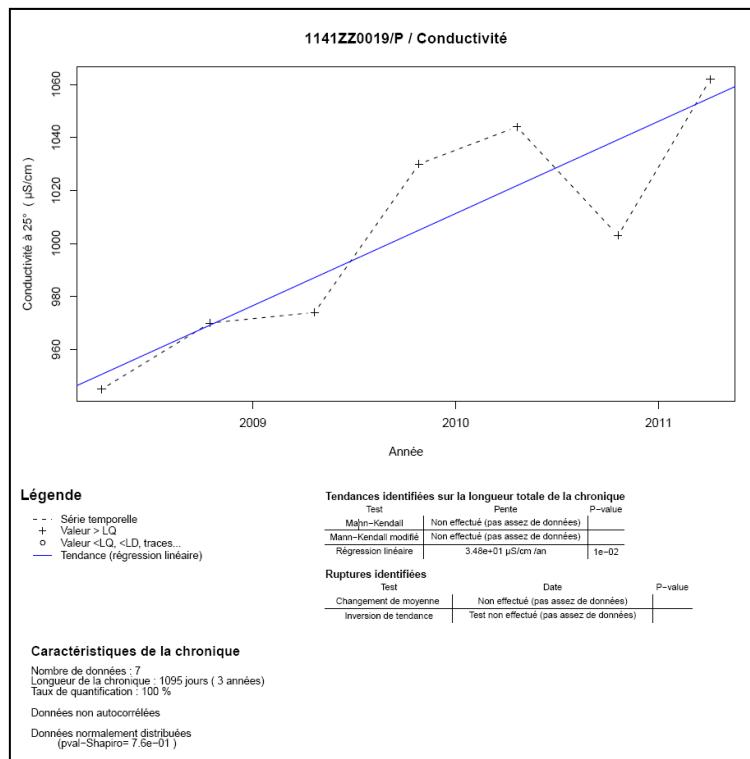
Description d'une sortie graphique obtenue avec l'outil pour une chronique de nitrates au point BSS 05943X0000/PFAEP1



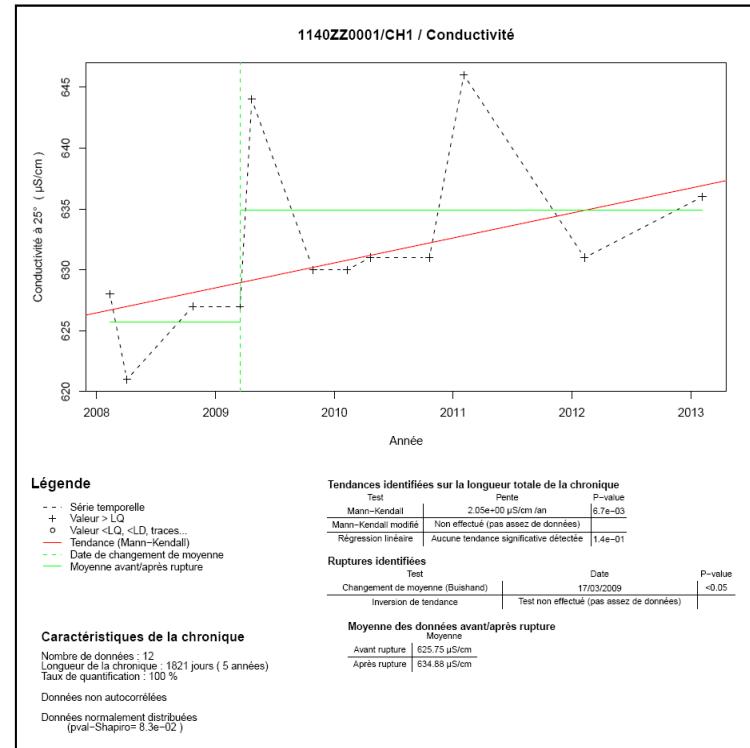
## Annexe 2

### **Chroniques pertinentes traitées statistiquement avec l'outil HYPE**

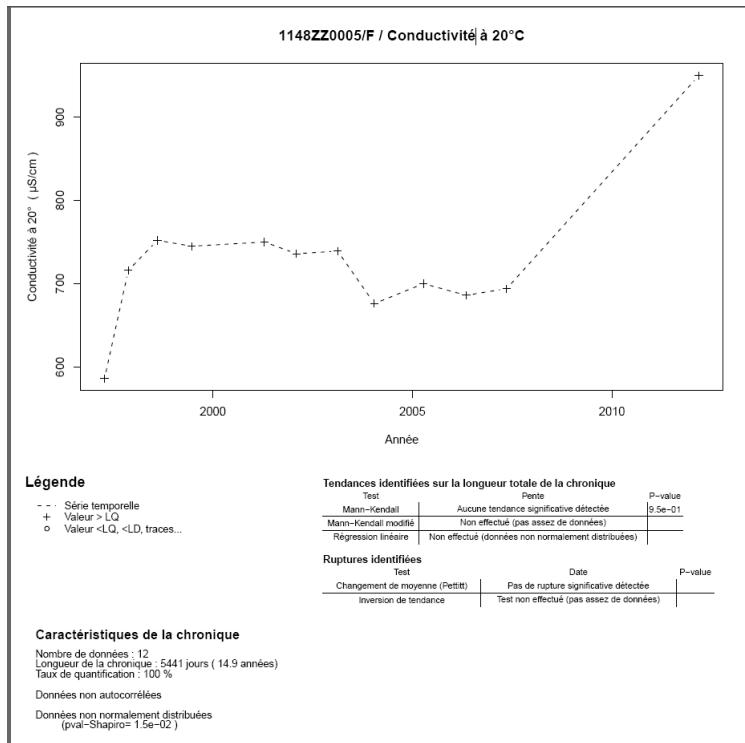




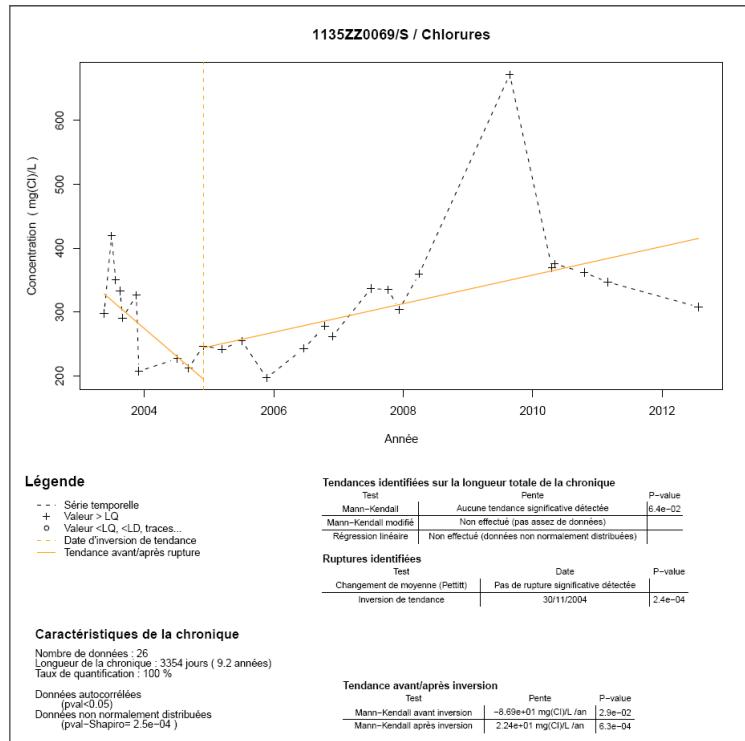
Annexe 2- Illustration 1-Analyse statistique de la chronique de la conductivité sur le point 1141ZZ0019/P



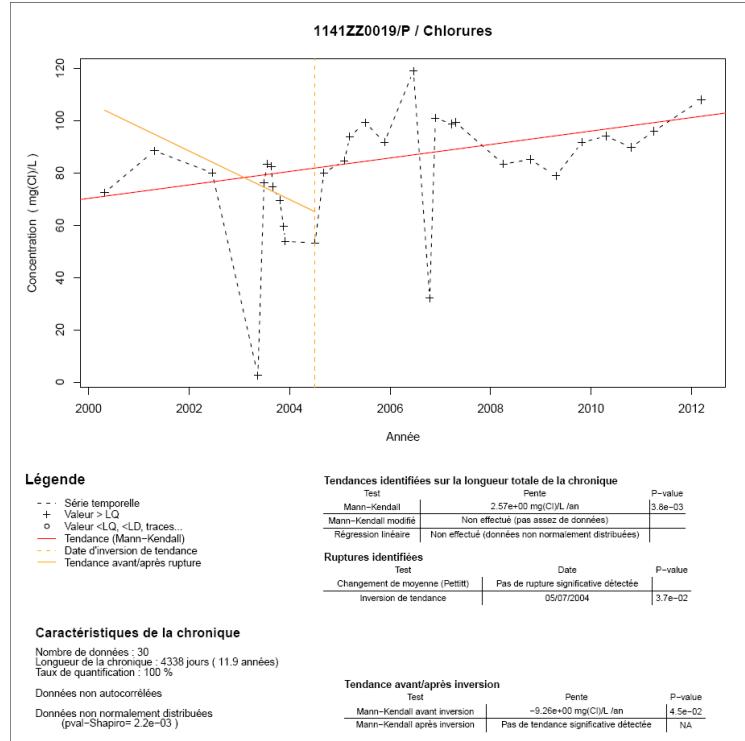
Annexe 2- Illustration 2-Analyse statistique de la chronique de la conductivité sur le point 1140ZZ0001/CH1



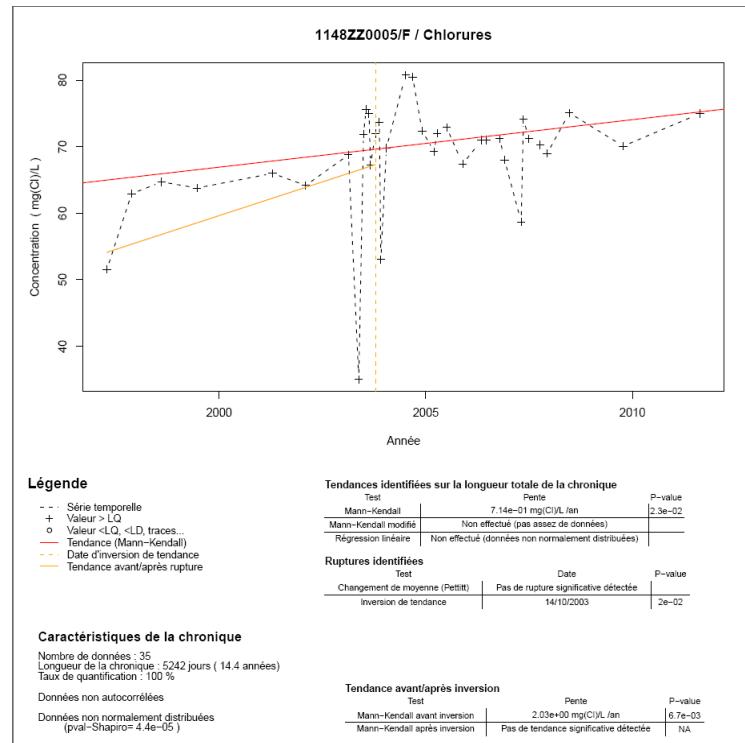
Annexe 2- Illustration 3 - Analyse statistique de la chronique de la conductivité sur le point 1148ZZ0005/F



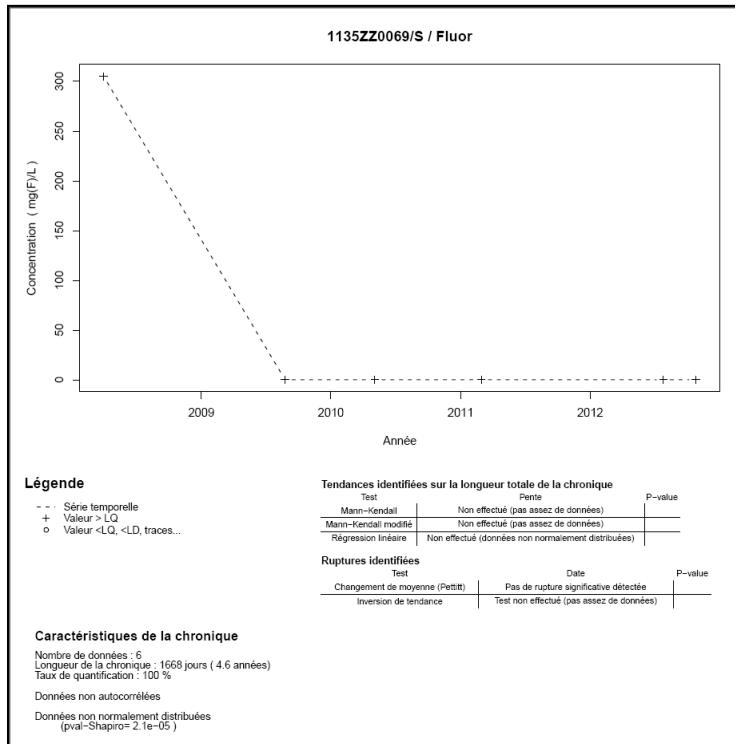
Annexe 2- Illustration 4 - Analyse statistique de la chronique de chlorures sur le point 1135ZZ0069/S



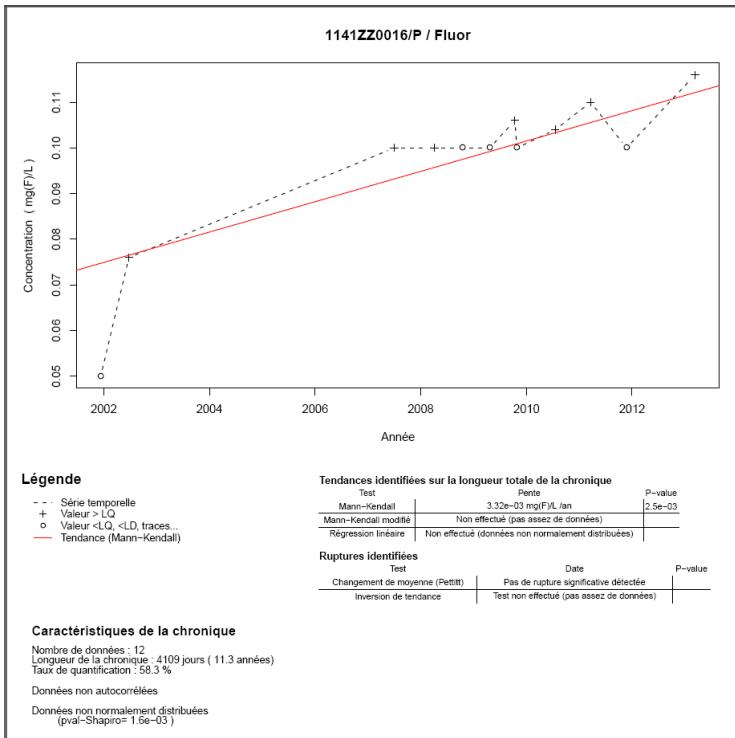
Annexe 2- Illustration 5 - Analyse statistique de la chronique de chlorures sur le point 1141ZZ0019/P



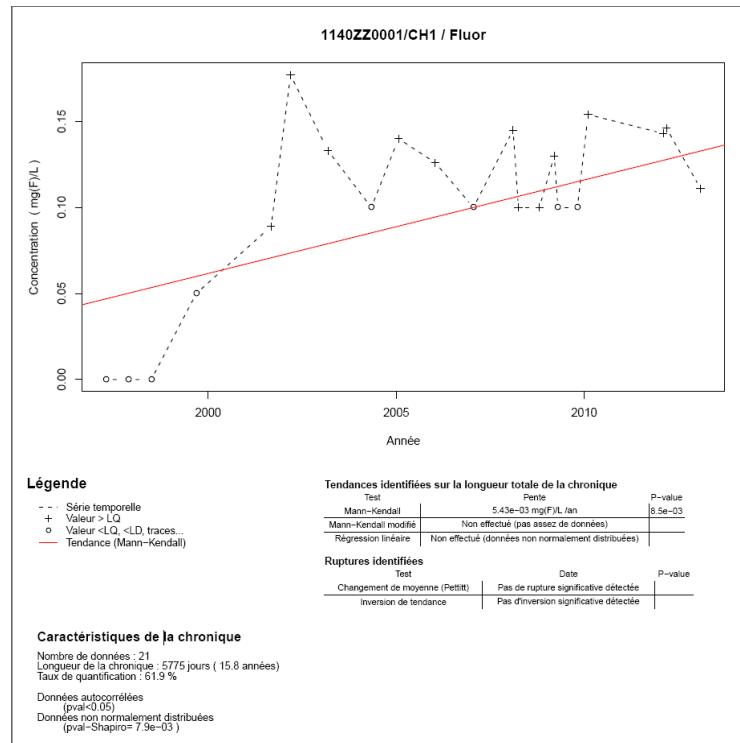
Annexe 2- Illustration 6 -Analyse statistique de la chronique du Chlorures sur le point 1148ZZ0005/F



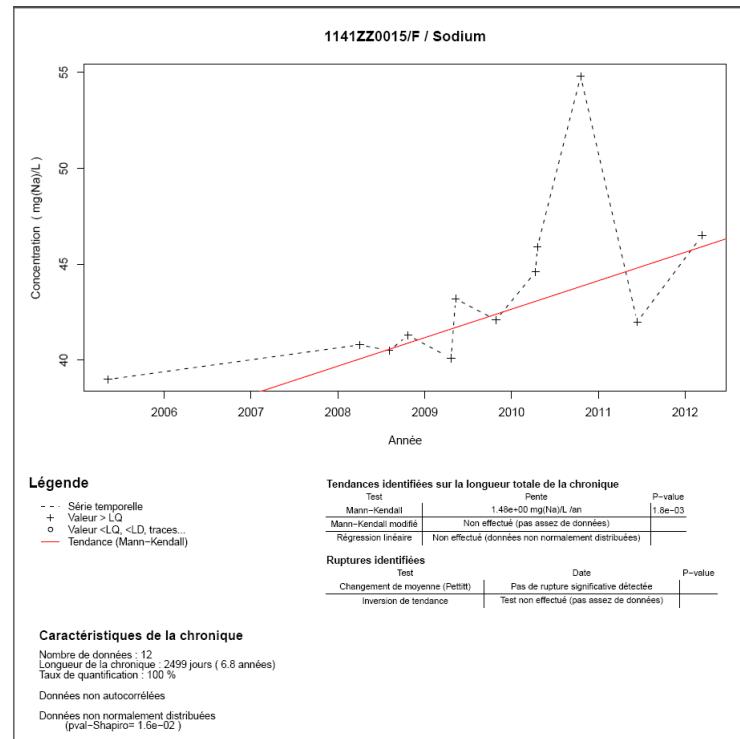
Annexe 2- Illustration 7 - Analyse statistique de la chronique du Fluor sur le point 1135ZZ0069/S



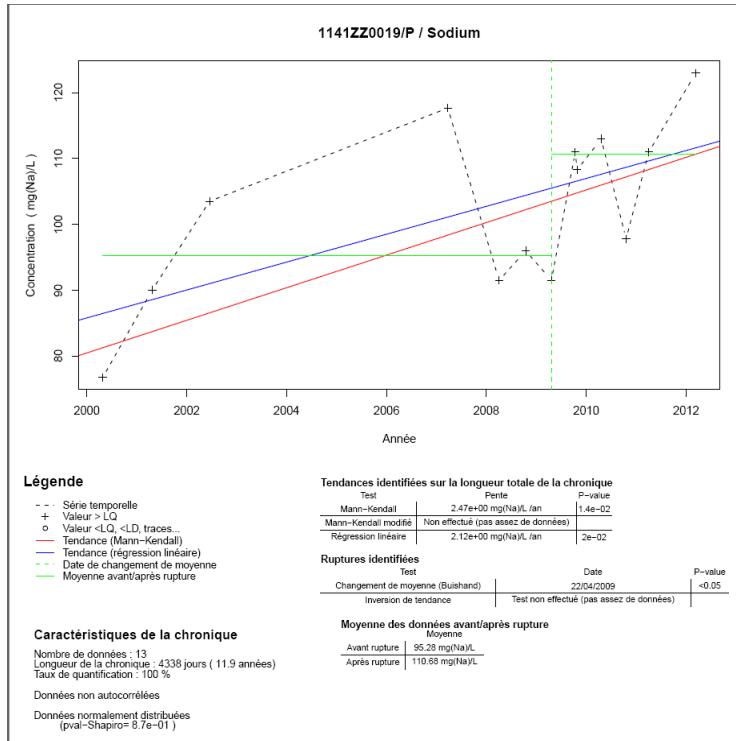
Annexe 2- Illustration 8- Analyse statistique de la chronique du Fluor sur le point 1141ZZ0016/P



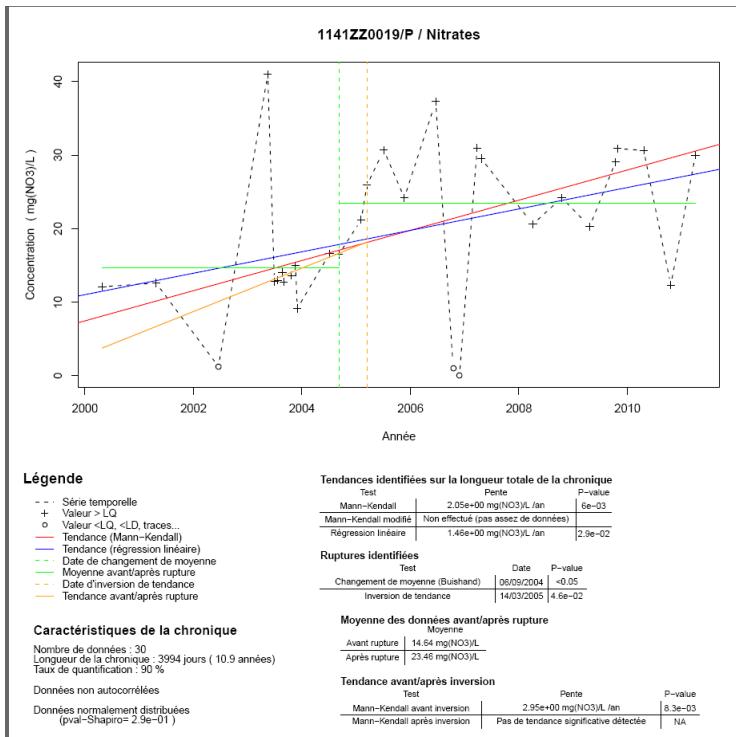
Annexe 2- Illustration 9- Analyse statistique de la chronique du Fluor sur le point 1140ZZ0001/CH1



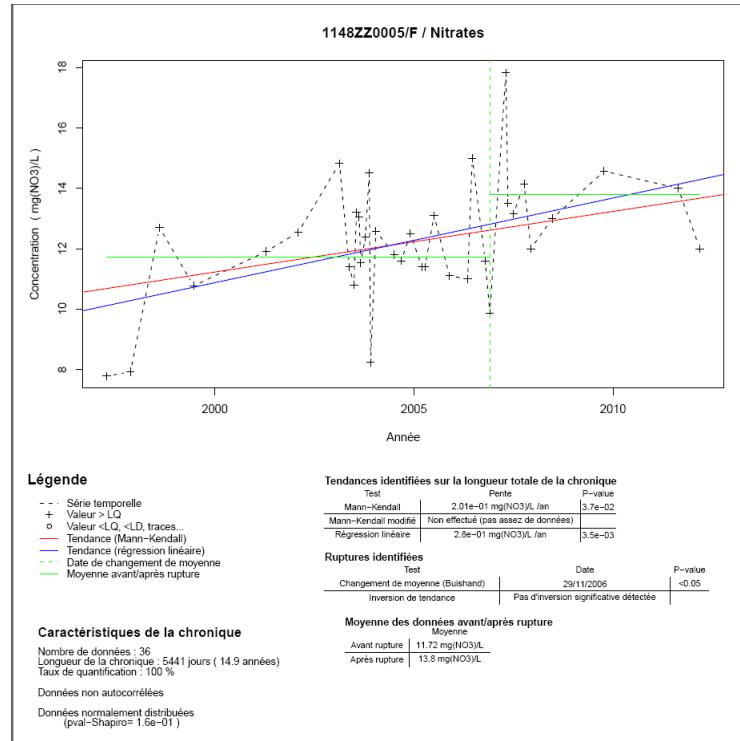
Annexe 2- Illustration 10- Analyse statistique de la chronique de sodium sur le point 1141ZZ0015/F



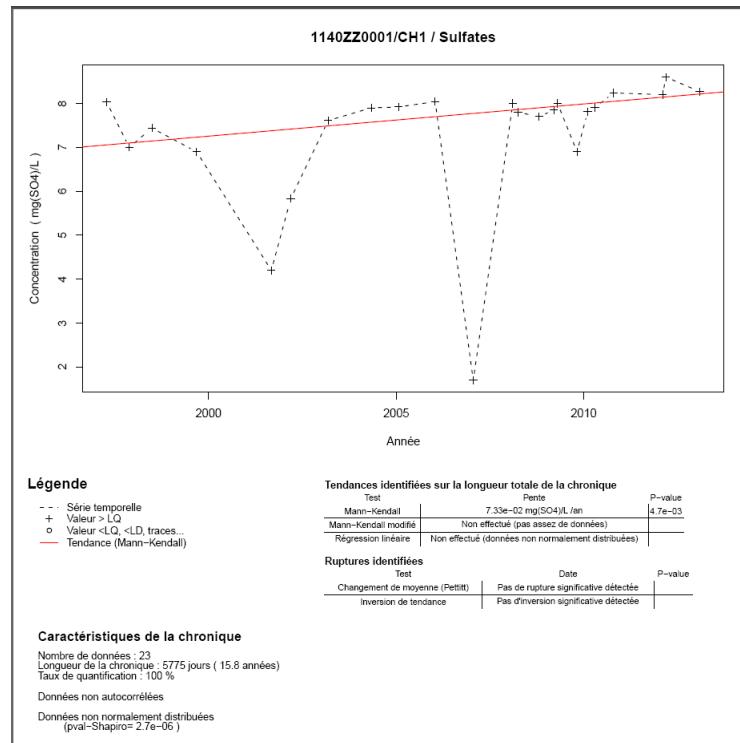
Annexe 2- Illustration 11 - Analyse statistique de la chronique de sodium sur le point 1141ZZ0019/P



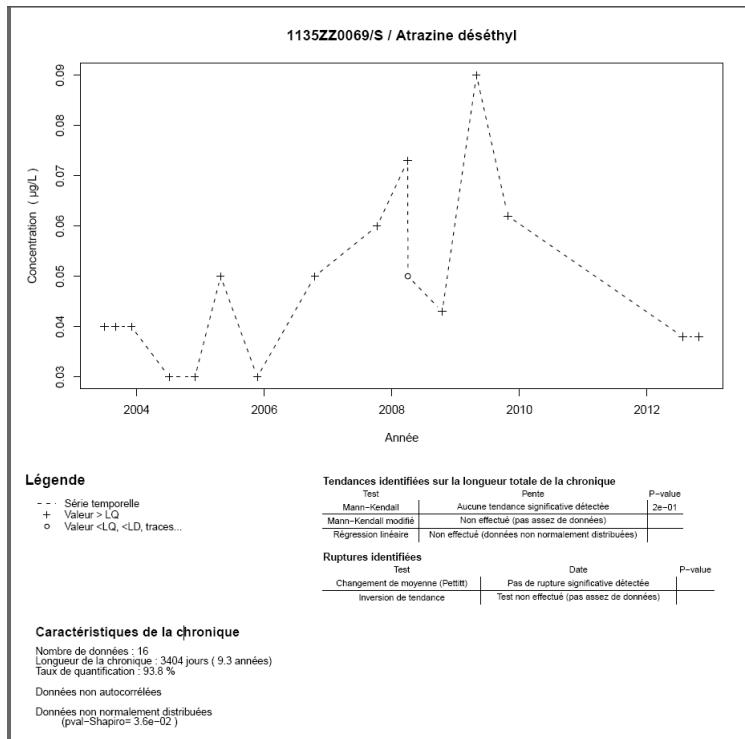
Annexe 2- Illustration 12 - Analyse statistique de la chronique du Nitrates sur le point 1141ZZ0019/P



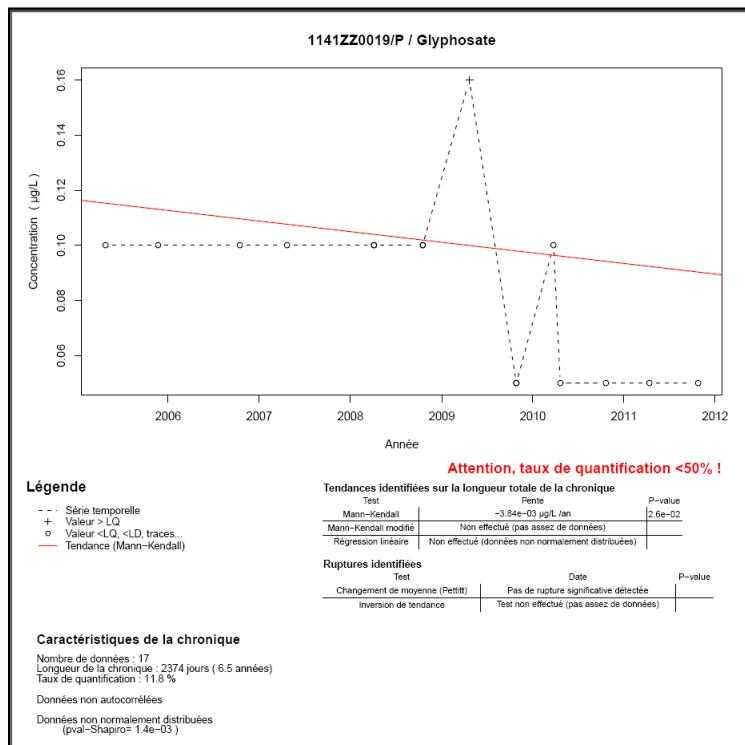
Annexe 2- Illustration 13 - Analyse statistique de la chronique du Nitrates sur le point 1148ZZ0005/F



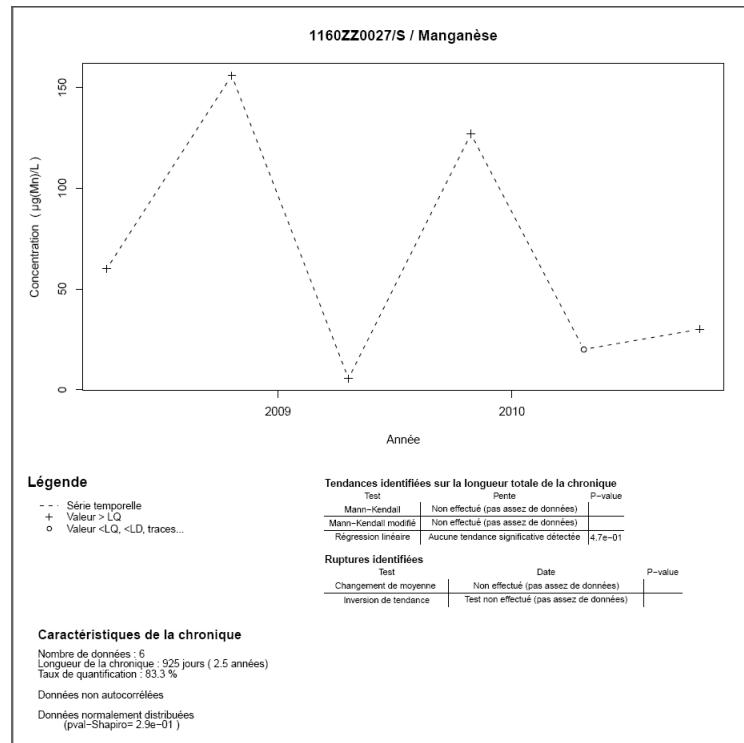
Annexe 2- Illustration 14 - Analyse statistique de la chronique de sulfates sur le point 1140ZZ0001/CH1



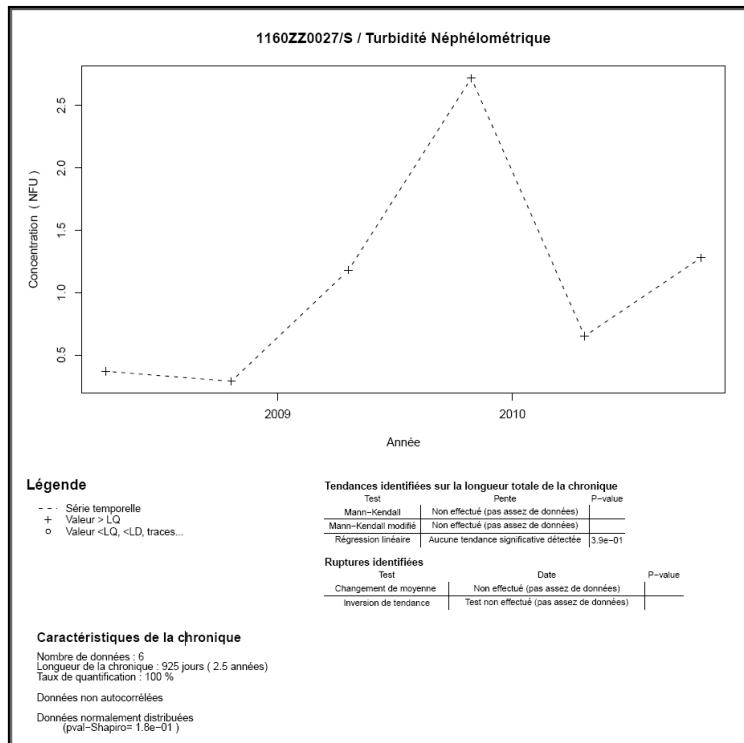
*Annexe 2- Illustration 15 - Analyse statistique de la chronique de désethylatrazine sur le point 1135ZZ0069/S*



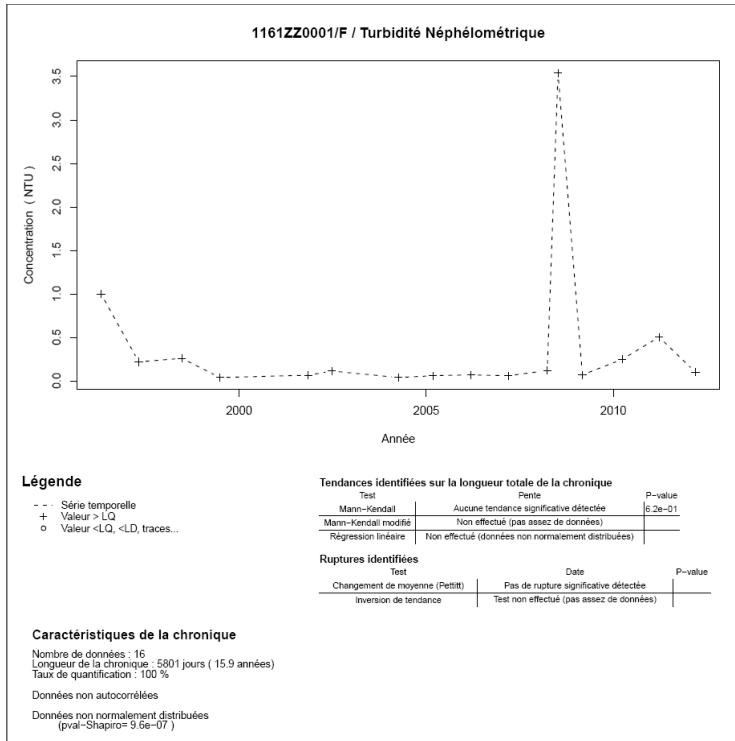
*Annexe 2- Illustration 16- Analyse statistique de la chronique de glyphosate sur le point 1148ZZ0005/F*



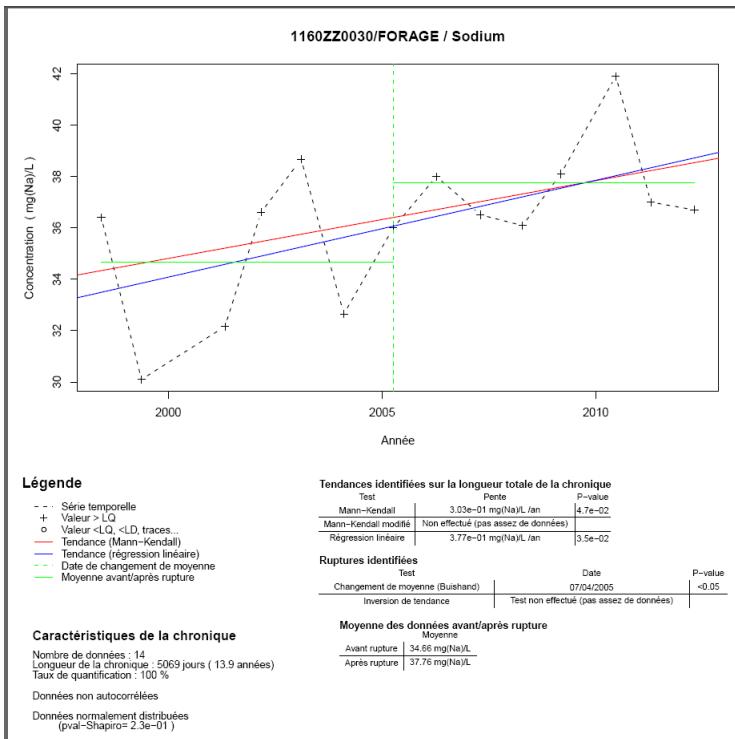
Annexe 2- Illustration 17 - Analyse statistique de la chronique de manganèse sur le point 1160ZZ0027/S



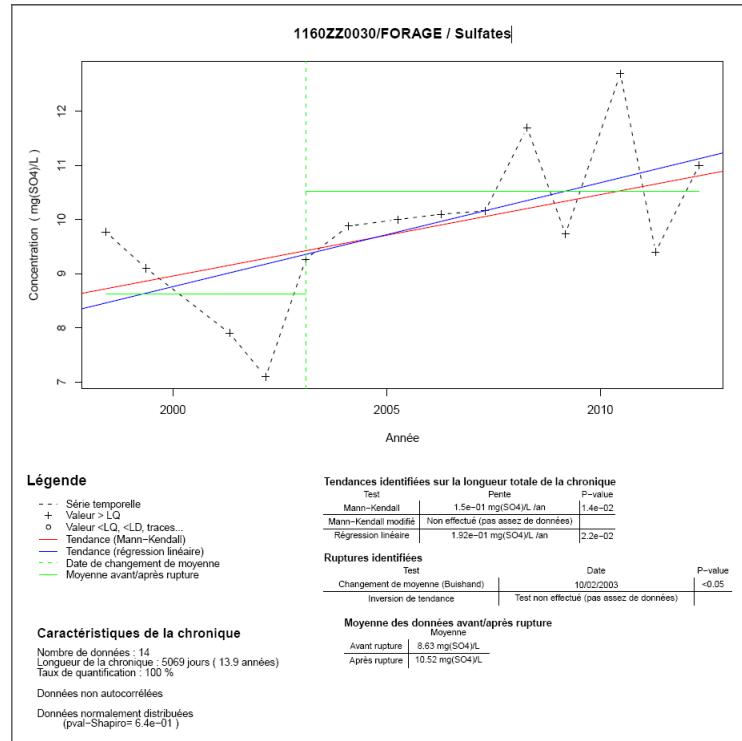
Annexe 2- Illustration 18 - Analyse statistique de la chronique de la turbidité sur le point 1160ZZ0027/S



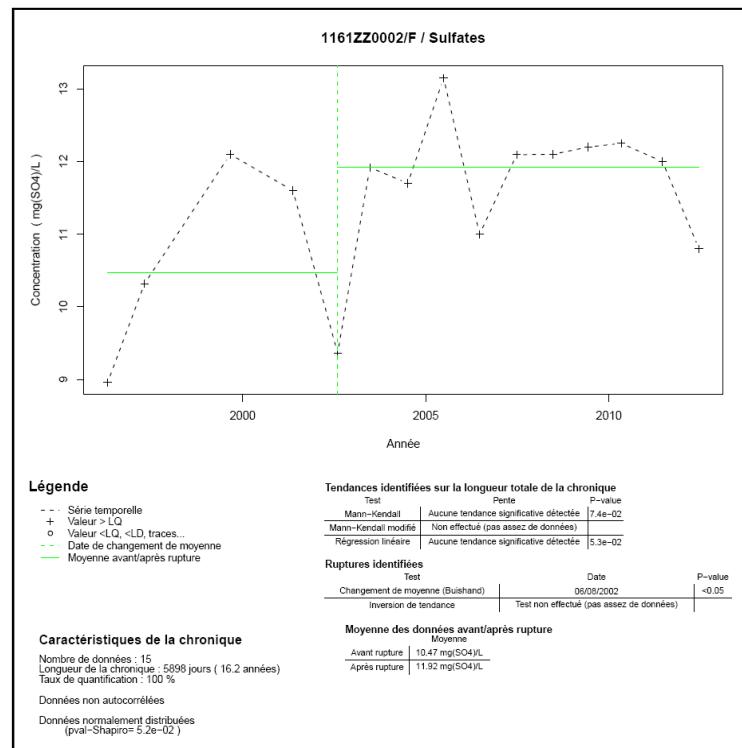
Annexe 2- Illustration 19 - Analyse statistique de la chronique de la turbidité sur le point 1161ZZ0001/F



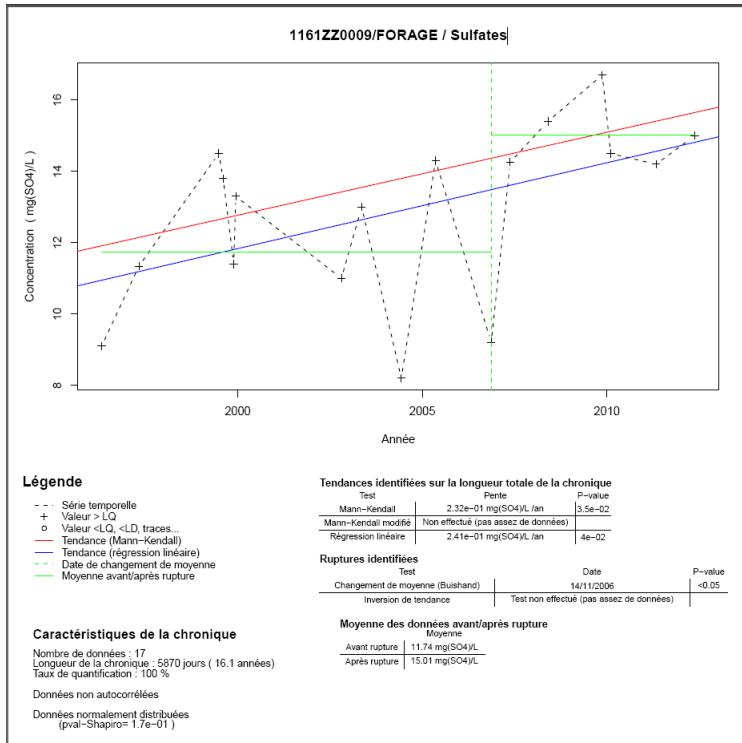
Annexe 2- Illustration 20- Analyse statistique de la chronique de sodium sur le point 1160ZZ0030/FORAGE



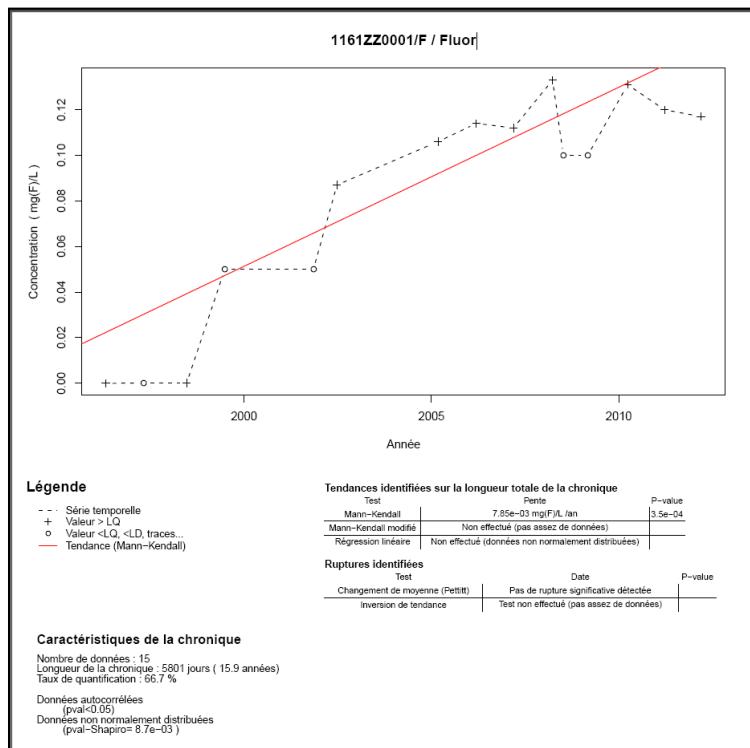
Annexe 2- Illustration 21 - Analyse statistique de la chronique de sulfate sur le point 1160ZZ0030/FORAGE



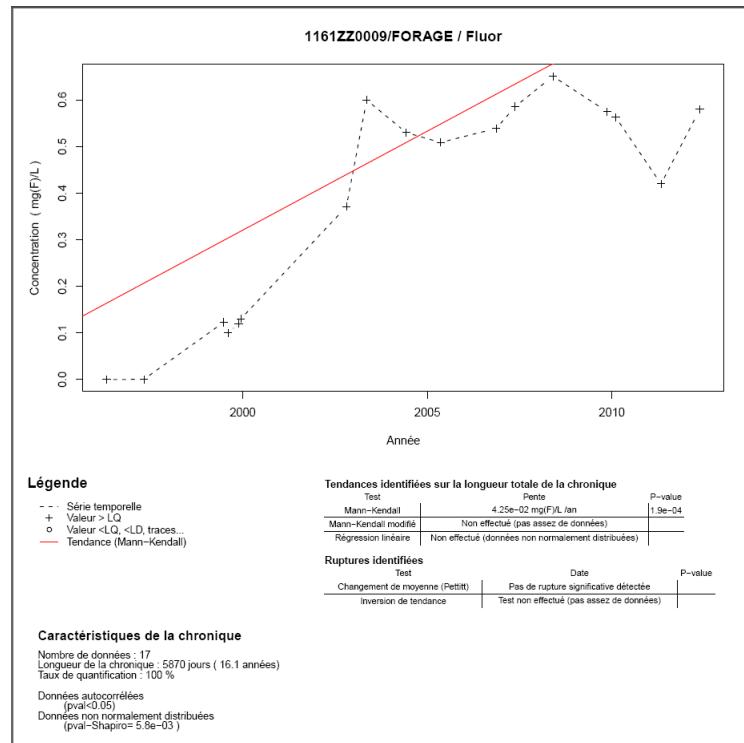
Annexe 2- Illustration 22 - Analyse statistique de la chronique de sulfate sur le point 1161ZZ0002/F



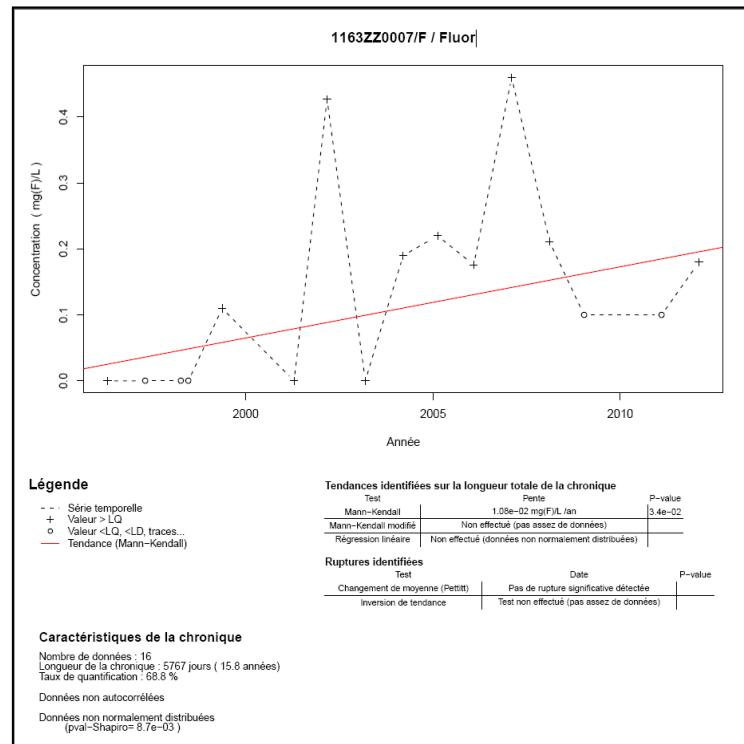
*Annexe 2- Illustration 23 - Analyse statistique de la chronique de sulfate sur le point 1161ZZ0009/FORAGE*



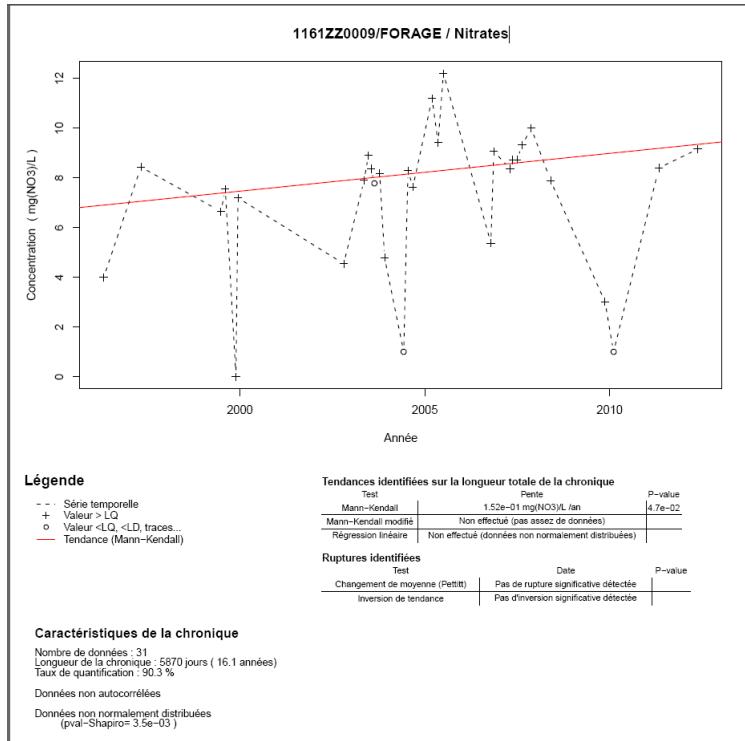
*Annexe 2- Illustration 24 - Analyse statistique de la chronique de fluor sur le point 1161ZZ0001/F*



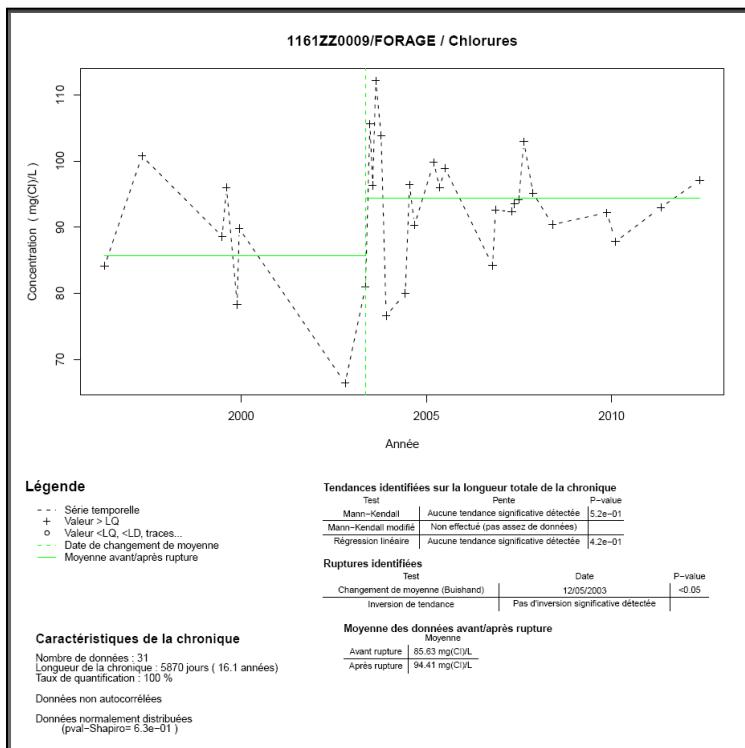
Annexe 2- Illustration 25 - Analyse statistique de la chronique de fluor sur le point 1161ZZ0009/FORAGE



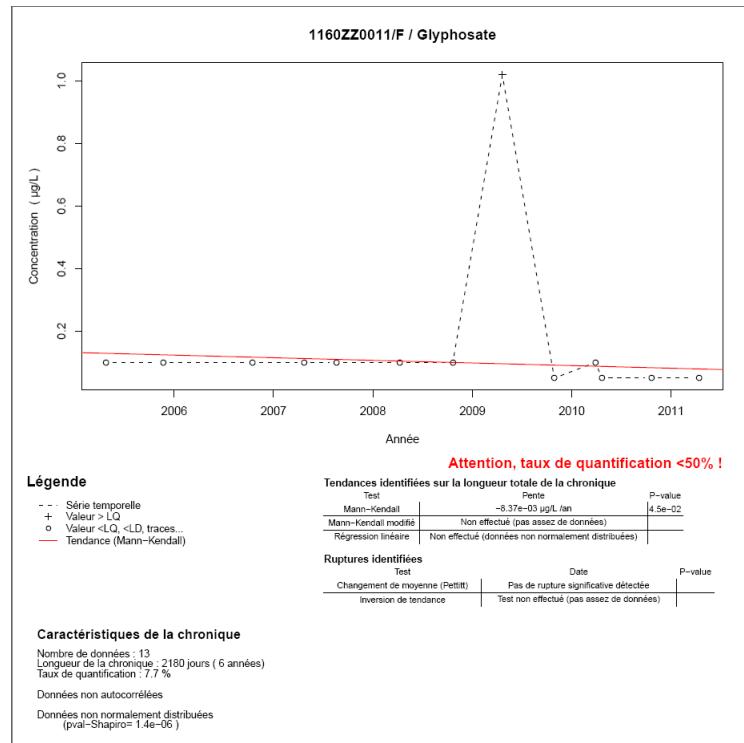
Annexe 2- Illustration 26 - Analyse statistique de la chronique de fluor sur le point 1163ZZ0007/F



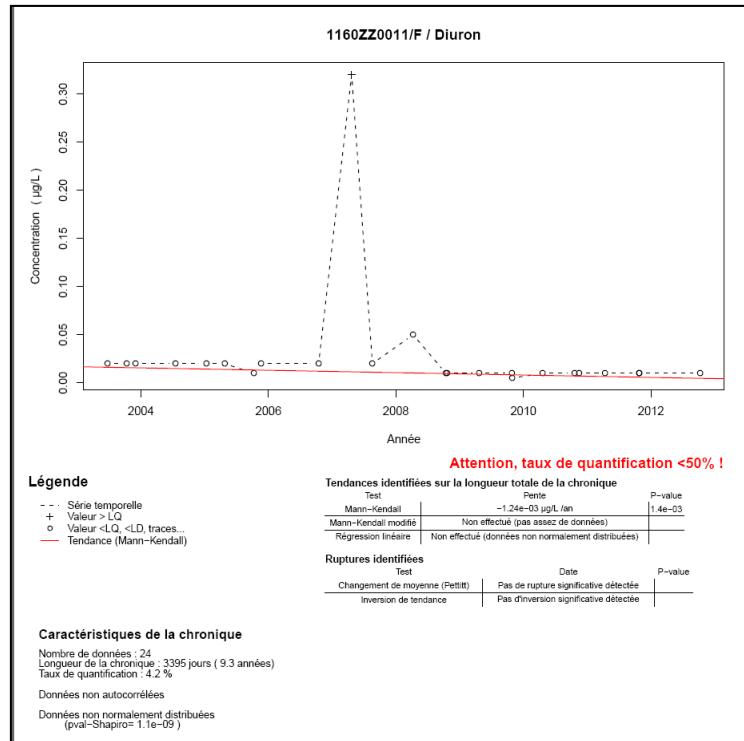
Annexe 2- Illustration 27 - Analyse statistique de la chronique de nitrates sur le point 1161ZZ0009/FORAGE



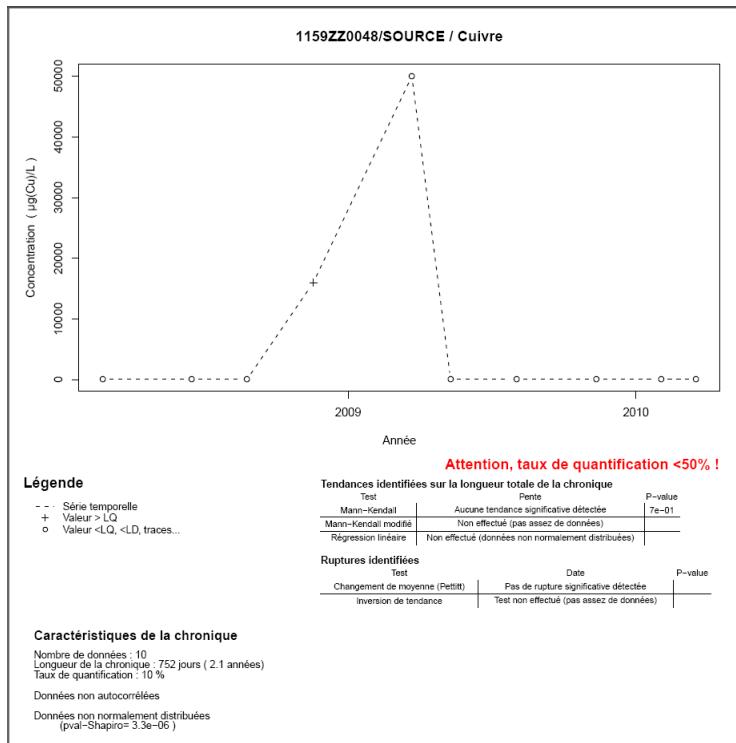
Annexe 2- Illustration 28- Analyse statistique de la chronique de chlorures sur le point 1161ZZ0009/FORAGE



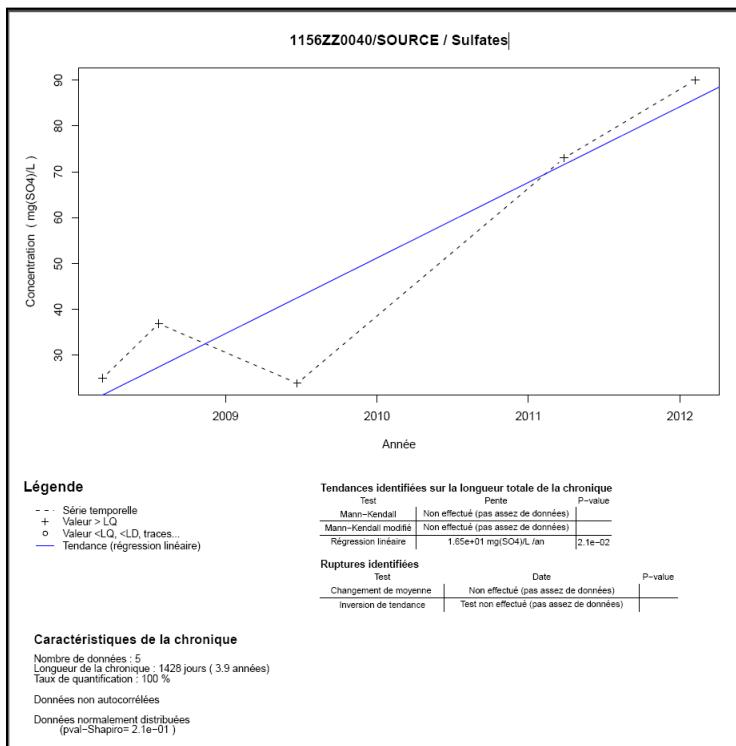
Annexe 2- Illustration 29- Analyse statistique de la chronique de glyphosate sur le point 1160ZZ0011/F



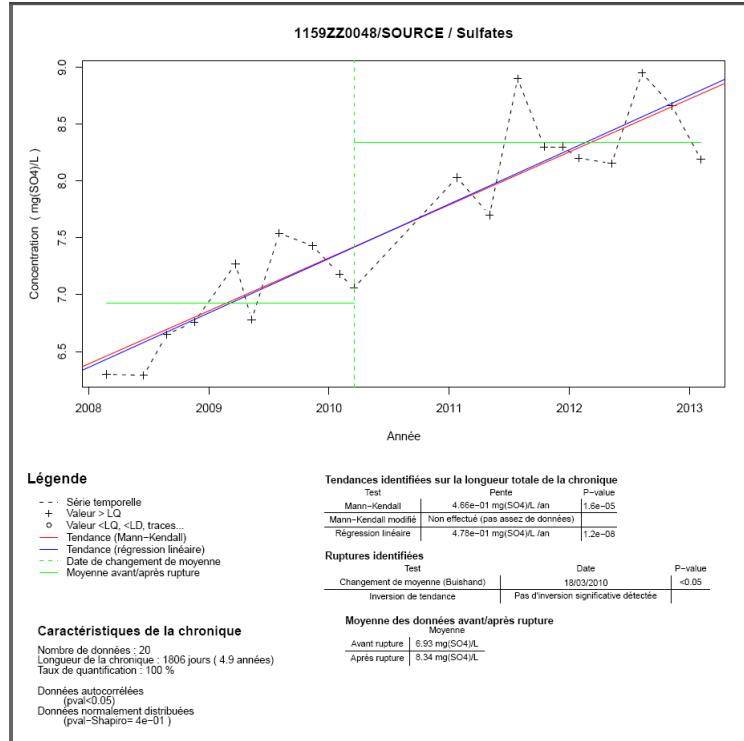
Annexe 2- Illustration 30 - Analyse statistique de la chronique de diuron sur le point 1160ZZ0011/F



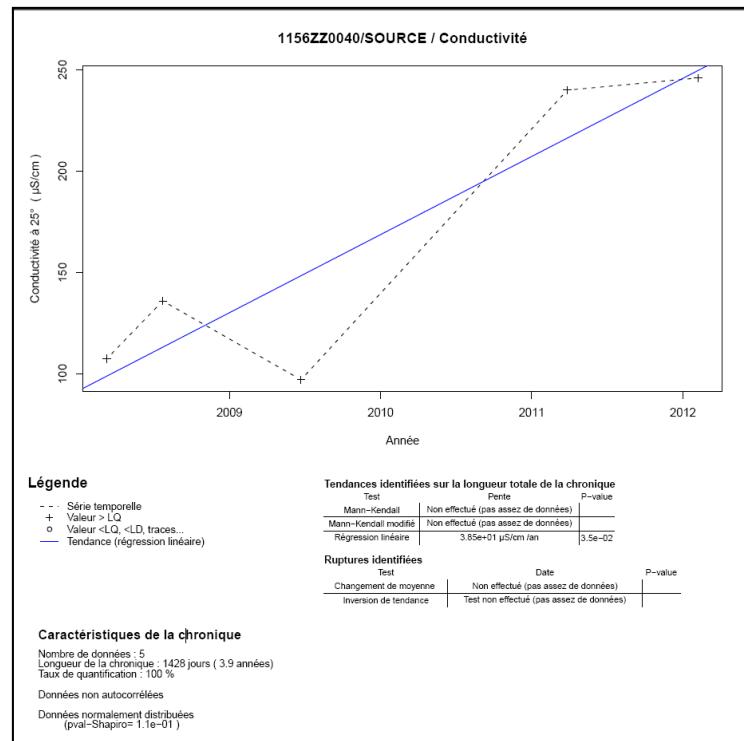
*Annexe 2- Illustration 31 - Analyse statistique de la chronique de cuivre sur le point 1159ZZ0048/SOURCE*



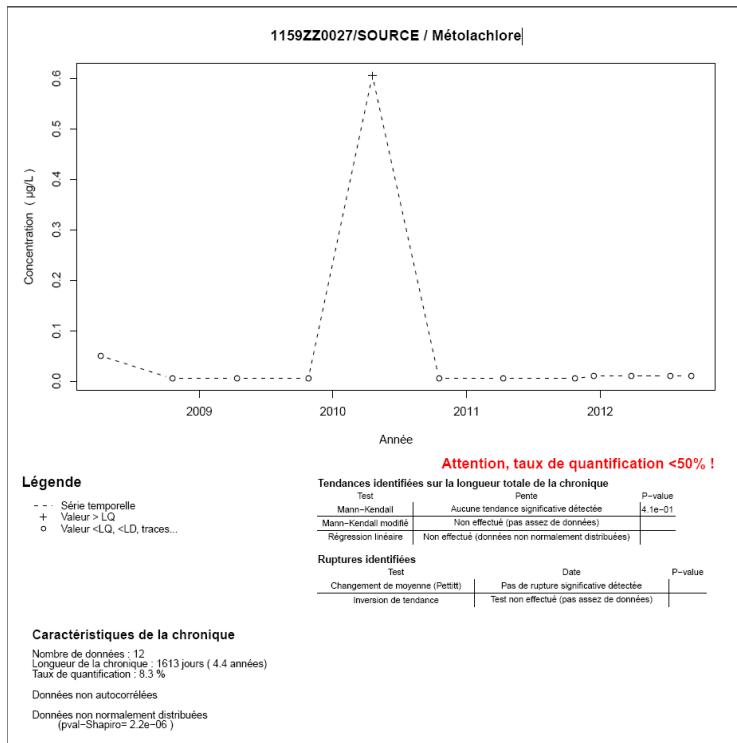
*Annexe 2- Illustration 32- Analyse statistique de la chronique de sulfates sur le point 1156ZZ0040/SOURCE*



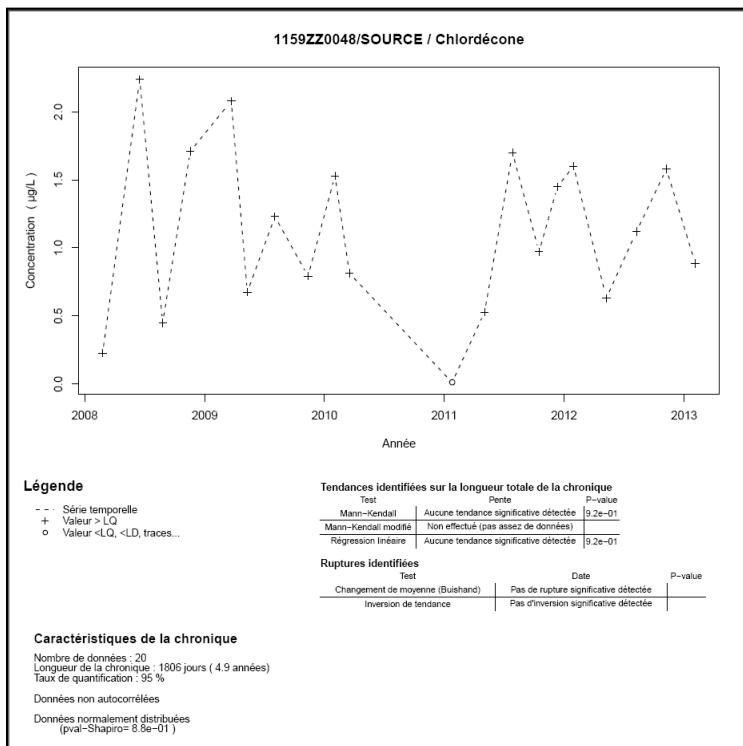
Annexe 2- Illustration 33- Analyse statistique de la chronique de sulfates sur le point 1159ZZ0048/SOURCE



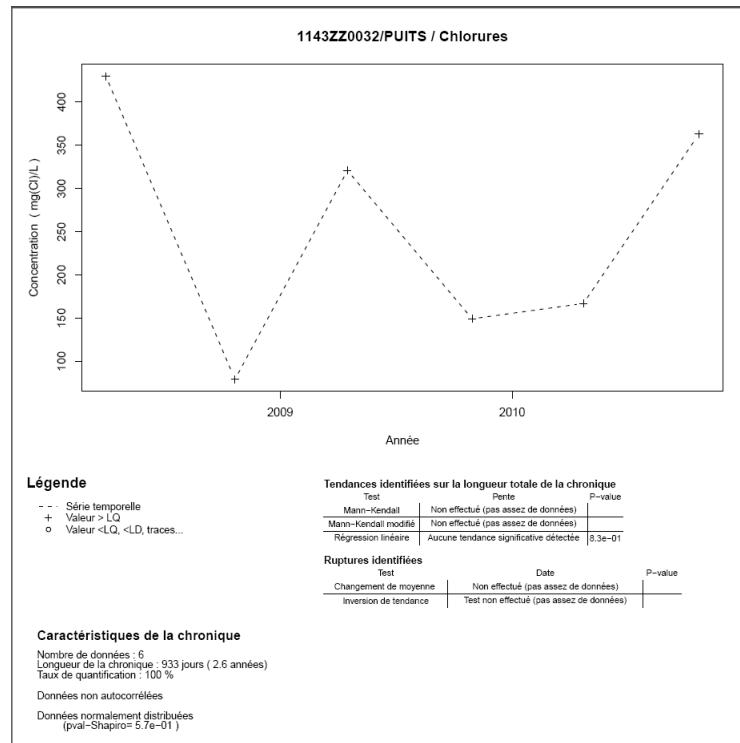
Annexe 2- Illustration 34- Analyse statistique de la chronique de conductivité sur le point 1156ZZ0040/SOURCE



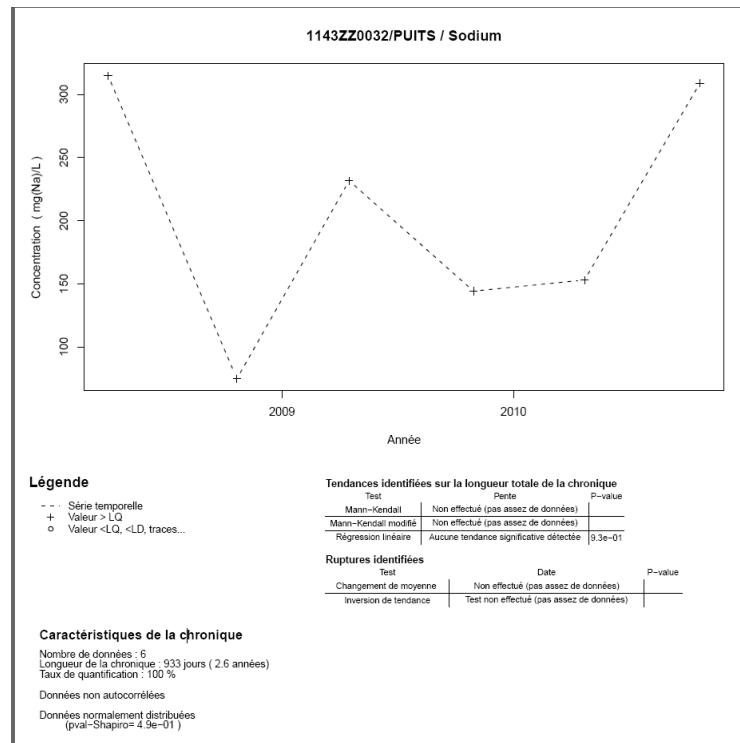
*Annexe 2- Illustration 35- Analyse statistique de la chronique de métolachlore sur le point 1159ZZ0027/SOURCE*



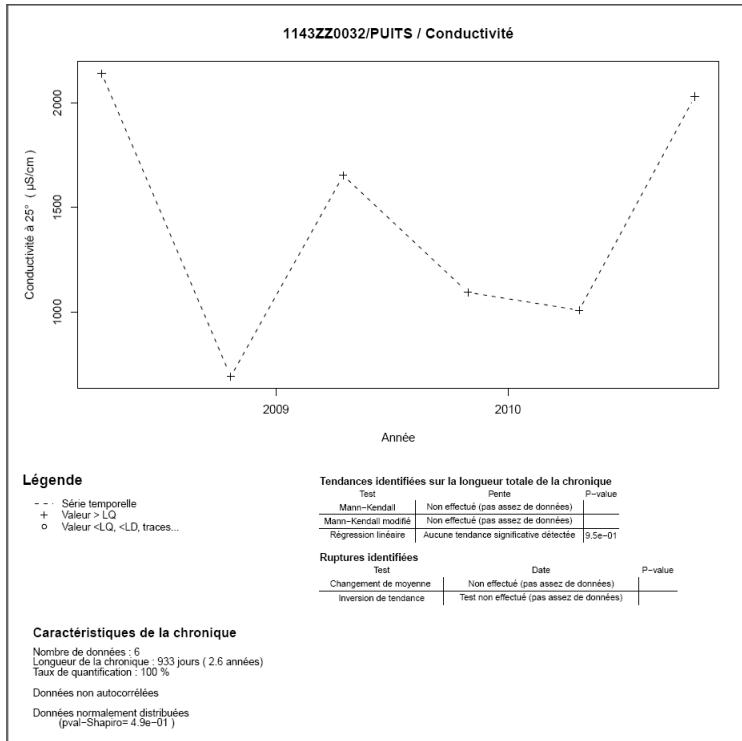
*Annexe 2- Illustration 36- Analyse statistique de la chronique du chlordécone sur le point 1159ZZ0048/SOURCE*



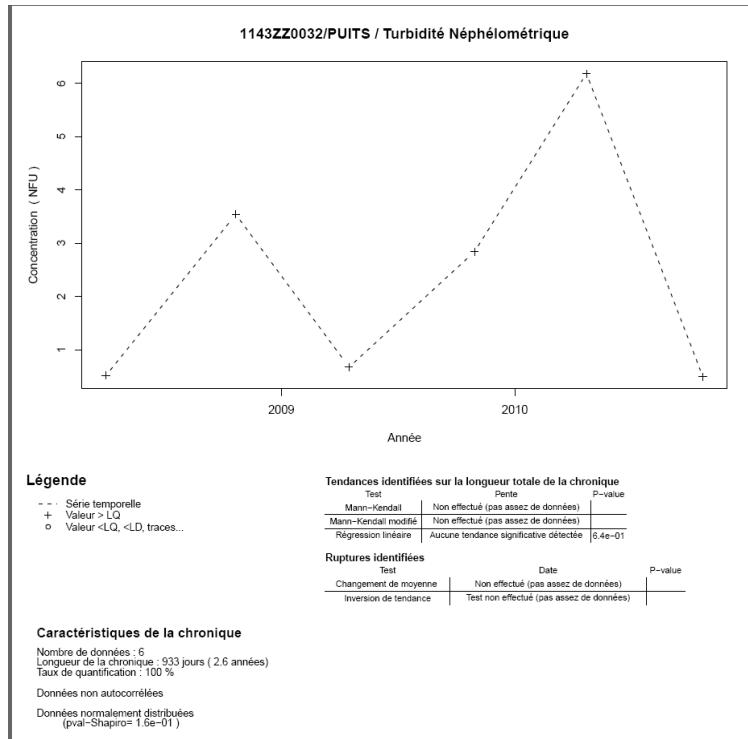
Annexe 2- Illustration 37 - Analyse statistique de la chronique de chlorure sur le point 1143ZZ0032/PUITS



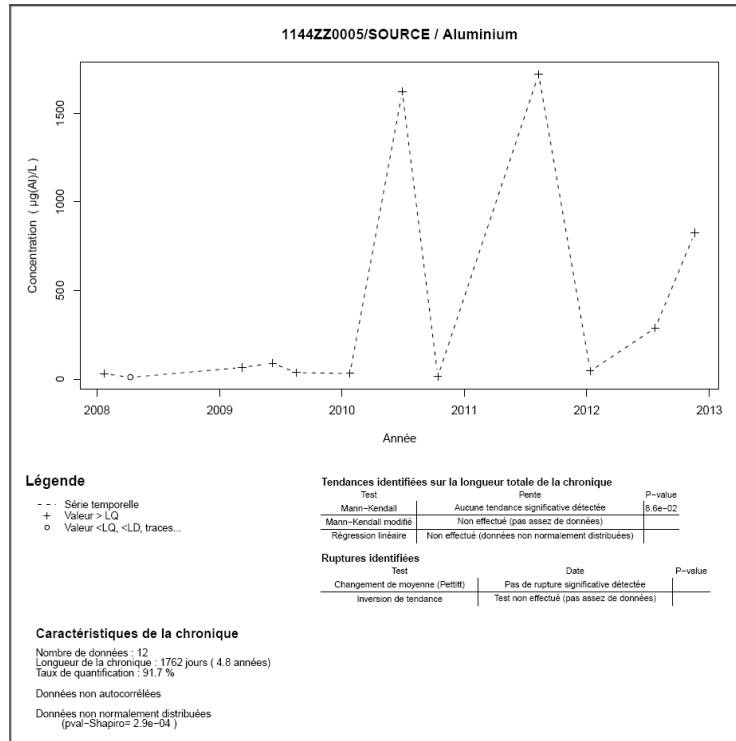
Annexe 2- Illustration 38 - Analyse statistique de la chronique de sodium sur le point 1143ZZ0032/PUITS



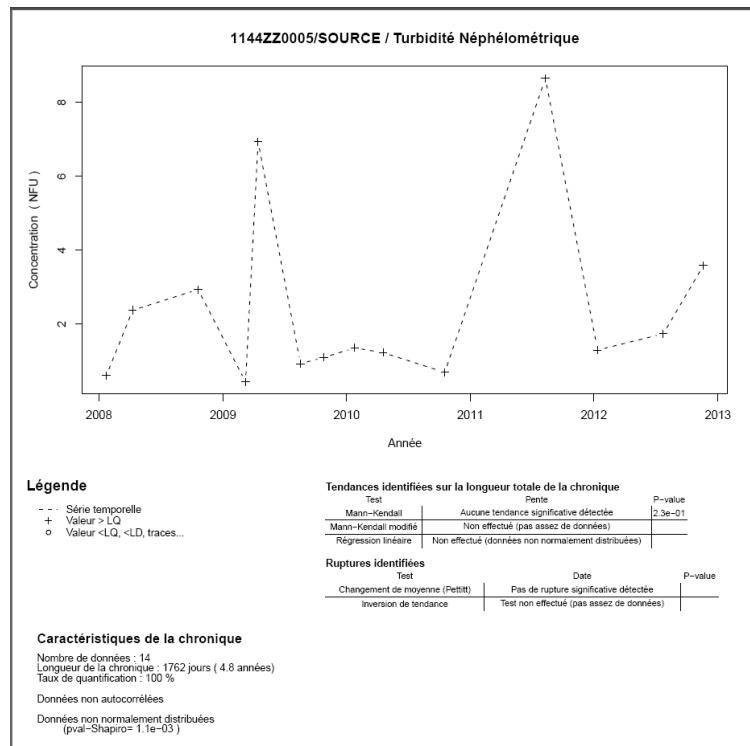
*Annexe 2- Illustration 39 - Analyse statistique de la chronique de conductivité sur le point 1143ZZ0032/PUITS*



*Annexe 2- Illustration 40 - Analyse statistique de la chronique de turbidité sur le point 1143ZZ0032/PUITS*



Annexe 2- Illustration 41 - Analyse statistique de la chronique d'aluminium sur le point 1144ZZ0005/SOURCE



Annexe 2- Illustration 42- Analyse statistique de la chronique de turbidité sur le point 1144ZZ0005/SOURCE







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 36009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction Régionale de Guadeloupe**  
Parc d'activités de Colin – La Lézarde  
97170 – Petit-Bourg – France  
Tél. : +33 (0) 5 90 41 35 48

